

الرقم.....



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة المسيلة
كلية العلوم
قسم الفيزياء

مذكرة

مقدمة لنيل شهادة

الماستر

الميدان : علوم المادة

الشعبة : الفيزياء النظرية

التخصص : فيزياء الجسيمات عالية الطاقة

من طرف

شبابي بسمة

العنوان

عنوان المذكرة

محاكاة الشلالات الهوائية للأشعة الكونية عالية الطاقة

المناقشة بتاريخ : 2013/06/25

أمام اللجنة المكونة من :

رئيسا	جامعة المسيلة	أ. محاضر أ	أ. مطاطلة عبود
مشرفة	جامعة المسيلة	أ. محاضر أ	أ. قالي سهام
ممتحنا	جامعة المسيلة	أ. محاضر أ	أ. بوساهل منير

1	الفهرس
3	- مقدمة
	1- الفصل الاول : الدراسة النظرية للأشعة الكونية
5	1-1 - تعريف الاشعة الكونية
7	1-1-1 - الاشعة الابتدائية
8	2-1-1 - الاشعة الثانوية
10	2-1 - الطيف الطاقوي
11	3-1 - رصد الاشعة الكونية
11	1-3-1 -الرصد المباشر
13	2-3-1-الرصد غير المباشر
14	3-3-1- مرصد Pierre Auger
15	4-1 - مصادر الاشعة الكونية
16	5-1- آليات تسريع الجسيمات إلى طاقات عالية
16	1-5-1 - التسريع بالحقول الكهربائية
19	2-5-1- آلية فارمي
20	6-1- مواقع التسريع
23	7-1- القطع GZK
25	8-1 - الشلالات الهوائية
25	1-8-1- السلاسل الكهرومغناطيسية
26	2-8-1- السلاسل الهادرونية
29	9-1- الغلاف الجوي
30	10-1- خصائص الشلالات الهوائية
30	1-10-1- التوزيع العرضي

٣١	٢-١٠-١- التوزيع الطولي
	٢- الفصل الثاني : المحاكاة
٣٢	١-٢- تمهيد
٣٣	- ٢-٢ نظام الاحداثيات
٣٤	- ٣-٢ نموذج الغلاف الجوي
٣٦	- ٤-٢ خوارزمية التخفيف
٣٦	- ٥-٢ الجسيمات الخاصة بالمحاكاة
٣٦	- ٦-٢ التفاعلات المستعملة في المحاكاة
٣٦	- ٧-٢ أجزاء برنامج Aires
٣٧	١-٧-٢ - ملف المعطيات
٣٨	٢-٧-٢ - ملف النتائج
	٣- الفصل الثالث : دراسة بعض خواص الشلالات
٤٣	١-٣- تمهيد
٤٤	٢-٣- نتائج دراسة التوزيع الطولي
٤٦	٣-٣- نتائج دراسة التوزيع العرضي
٤٨	٤-٣- نتائج دراسة توزيع الطاقات
٤٩	٤-٣- دراسة الشلالات لمرصد المسيلة
٥٠	الخاتمة
٥١	المراجع
٥٢	الملحق

تَفَكُّرٌ

بِسْمِ اللَّهِ تَعَالَى فِي حُلْمٍ قُرْبَلَهُ : " وَصَبَّحُوا لِلَّهِ تَائِبِينَ "

أَمْرٌ بِاللَّهِ عَمَلٌ يَوْمَ الْقِيَامَةِ ، وَبِكَافِرٍ مَرْبُودٌ ، وَأَسْأَلُكَ يَا إِبْرَاهِيمَ

صَلَّى وَسَلَّمَ عَلَيَّ صَبْرًا كَسِرِّ صَلَاتِي اللَّهُ عَلَيَّ وَسَلَّمَ

اللَّهُ لَهَا النَّبِيُّ عَلِمَ بِالْعِلْمِ .. وَأَنْزَلَ عَلَيَّ مِنْ لَيْسَ مِنْ حَبَاوَهُ وَأُخِرَ .

أُولَئِكَ الَّذِينَ اللَّهُ النَّبِيُّ أَمْرِي بِالْقُدْرَةِ عَلَيَّ إِجْزَاءَ فَزَلَّ السُّلْبُ الْمُنْوَضِعَ .

بِعَرِّفَكَ لِلْحَالَةِ ، أُنْكَرُ الْإِسْأَفَةَ وَالْفَاضِلَةَ فَالِي مَهَامِ عَلَيَّ كَلِمَةُ الْجَهْرِ وَالْجَبْرُوتِ

وَنُجْمِي فِي إِجْزَاءِ فَزَلَّ السُّلْبُ . أُنْكَرُ كَلِمَةَ مِنَ الْإِسْأَفَةِ مَطَاظَةَ حَبْرٍ وَ الْإِسْأَفَةَ بِرِوَالِهِ مَنِيرٍ

وَأُنْكَرُ كَلِمَةَ أَسْأَفَةَ وَطَلَبَةَ فَمَعَ الْغَيْزِ بَاءً . كَمَا أُنْكَرُ كَلِمَةَ مِنَ الْإِسْأَفَةِ حَبْرٍ وَ حَبْرِي عَلَيَّ مَعَا حَبْرِي

فِي فَزَلَّ السُّلْبُ . كَمَا قَالَ الْإِسْأَفَةَ عَلَيَّ لِيْنِ لِيْ طَالِبَ :

مَا الْفَضْلُ إِلَّا الْأَفْعُلُ الْعَالِمُ إِذْ هُمْ عَلَيَّ لِحْرِي لِيْنِ لِيْنِهِمْ أُولَئِكَ

وَقَبْلَهُ لِمَرْءٍ مَا كَمَا جَمِينَهُ وَاللَّهِ جَاهِ عَلَيَّ الْإِسْأَفَةَ أَسْمَاءَ

وَضَرَّ كَلِمَةَ لِمَرْءٍ مَا كَمَا جَمِينَهُ وَاللَّهِ لِحْرِي الْعَالِمُ لِحْرِي

فَنَزَّ بَعْلَهُ وَاللَّهِ طَالِبَ بِهِ بَرًّا لِنَاصِي مَوْفِي وَأَفْعُلُ الْعَالِمُ أَسْمَاءَ

إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى الوالدين الكريمين اللذين سهرا على تربيتي، أطال الله في عمرهما و أمدهما بالصحة والعافية .
واهداء خاص إلى أختي الكبرى قرة عيني "عيدة" التي حرصت على توجيهي ونصحي منذ صغري جزاها الله خيرا . وإلى كل أفراد عائلتي خاصة أخي الوحيد عزوز.
إلى صديقاتي مريم ، سلطنة ، العمرية ، حنان ، هدى ، رانيا ، سميرة ، سميحة ، أمال ، فطوم ، عرجونة، ثلجة ، وإلى أحب الاوفياء و أقرب الخلاء
وإلى كل من ساعدني من قريب وبعيد في إنجاز هذا العمل المتواضع .
وإلى كل أساتذة وطلبة قسم الفيزياء وخاصة طلبة الفيزياء النظرية.

مقدمة

ترد الجسيمات من مختلف أنحاء الكون إلى سطح الأرض فتسمى بالأشعة الكونية، ينشأ عن تفاعل الجسيمات الابتدائية (الأشعة الكونية) مع جسيمات الغلاف الجوي سلسلة من التفاعلات المتتالية هذا ما يؤدي تشكل شلالات هوائية تحتوي على عدد هائل من الجسيمات الثانوية، ترد هذه الجسيمات بطاقات عالية ولحد الساعة لا يزال مصدر الجسيمات فائقة الطاقة مجهولا ، فما هي الآلية التي تسرع بها هذه الجسيمات إلى طاقات عالية؟ كيف يمكن رصد هذه الجسيمات؟ وكيف تتوزع هذه الجسيمات في مستويات مختلفة من الغلاف الجوي؟

نتطرق في الفصل الأول إلى الدراسة النظرية للأشعة الكونية تعريف الأشعة الكونية حيث تكون الأشعة الكونية قبل دخولها الغلاف الجوي أشعة ابتدائية وبعد دخولها وتفاعلها مع مركبات الغلاف الجوي تسمى أشعة ثانوية . وبعدها سنتحدث عن الطاقة التي ترد بها الجسيمات من مختلف المصادر ، كما سنتطرق إلى عمليات الرصد والطرق التي ترصد بها هذه الجسيمات باعتبار أن لها طاقات عالية وكيفية التعامل مع الجسيمات الابتدائية والثانوية . بالإضافة إلى مصادر الأشعة الكونية ، و أصل الجسيمات التي ترد للغلاف الجوي بمختلف طاقاتها حيث أنه باختلاف الطاقة تختلف المصادر ، وللتعرف أكثر على مصدر هذه الجسيمات سنتطرق إلى نموذجين يشرحان مصدر الجسيمات عالية الطاقة . من الفرضيات التي اعتمدت على تفسير الطاقات العالية نجد آلية التسريع ، سنتطرق إلى آليات التسريع حيث توجد آلية التسريع بالحقول الكهربائية وآلية فارمي هذه الأخيرة تنقسم إلى نموذجين ، التسريع من الرتبة الأولى و النموذج الثاني التسريع من الرتبة الثانية . تسرع الجسيمات إلى طاقات عالية جدا في مواقع مختلفة من الكون سنتطرق أيضا إلى مواقع التسريع، ونتعرف فيه على مختلف الاجرام المقترحة لتسريع الجسيمات إلى طاقات عالية . أما بالنسبة إلى للجسيمات ذات الطاقات الفائقة فمصدرها أو موقع تسريعها يظل مجهولا حتى الساعة. عندما تكون الطاقات فائقة يضعف تدفق الجسيمات وهذا ما فسر بأن الجسيمات الأولية كالبروتون تتفاعل مع فوتونات CMB وهذه الظاهرة تسمى بالقطع GZK. تتفاعل الجسيمات الأولية مع جسيمات الغلاف الجوي فينتج عنه شلالات سنتطرق لتعريف الشلالات الهوائية وأنواع السلاسل التي ينقسم لها الشلال و مختلف التفاعلات التي ينتج عنها العديد من الجسيمات . يتعلق تطور الشلال بمميزات الغلاف الجوي لذلك سنتطرق إلى بعض خصائص الغلاف الجوي ومختلف طبقاته.

ندرس الشلالات الهوائية من خلال التوزيع الطولي الذي يتعلق بالعمق العمودي ، و التوزيع العرضي حيث يتغير عدد الجسيمات بدلالة البعد عن قلب الشلال.

الفصل الثاني خاص بالحاكاة سنتحدث فيه عن البرنامج الذي نستخدمه في المحاكاة و هو Aires ، أيضا سنتطرق إلى أهم أجزائه، كملف المعطيات وملف النتائج، سنقوم بالتغيير في المقادير الفيزيائية الموجودة في الملفات التي تحمل المعلومات الخاصة بالشلال لدراسة تأثير هذه التغييرات على الخواص الفيزيائية للجسيمات الثانوية الموجودة بالشلال .

في الفصل الثالث سنتطرق إلى دراسة الخواص الفيزيائية للشلالات ، كالتوزيع الطولي والعرضي، وتوزيع الطاقات ، باستخدام برنامج Aires حيث سنقوم بالتغيير في نوع الجسيمة الابتدائية ، الطاقة الأولية ، اسم المرصد و مميزات موقع الرصد مثل الارتفاع على سطح البحر ، خطي الطول والعرض. ندرج الخواص المراد دراستها بتعليمات خاصة .

من الخواص التي سنتطرق لدراستها ، التوزيع الطولي أين ندرس تغير عدد الجسيمات بدلالة العمق العمودي ، و التوزيع العرضي الذي يرتبط بكثافة الجسيمات و بعدها عن قلب الشلال ، كذلك توزيع الطاقات بحيث سنعرف على تأثير الطاقة الابتدائية على عدد الجسيمات . بعد دراسة الخواص وتمثيل النتائج ببيانات ،نقارنها بالنتائج النظرية . وفي الاخير سنقوم بدراسة الشلالات الهوائية باعتبار مرصد موجود في الحضنة، ونقارن النتائج مع النتائج المحصل عليها من مرصد أخرى كالمرصد الياباني .

١- تعريف الأشعة الكونية :

الأشعة الكونية هي جسيمات أولية (الكترونات ، بوزيترونات ، بروتونات ، نيتريونات) و أشعة غاما تنتج من طرف مصادر متعددة في مختلف أرجاء الكون ، و ترد إلى الأرض بطاقات عالية جدا تصل إلى غاية 10^{21} eV (الالكتروفولط وحدة قياس الطاقة ويقدر بالجول 1.6×10^{-19}) . حيث أن طاقة بعض الجسيمات يمكن أن تصل إلى بعض المئات من الجول ($100 \text{ Joules} \sim 10^{21} \text{ eV}$) ، لدينا في هذه الحالة جسيمات ميكروسكوبية ذات طاقات ماكروسكوبية.

تصدر هذه الجسيمات من أجرام داخل المجرة مثل : الشمس ،النجوم النابضة ، المستعمرات العظمى او من مجرات أخرى مثل : الأنوية النشطة للمجرات و انفجارات غاما .

تتكون الأشعة الكونية بشكل أساسي من البروتونات بنسبة ٨٥% وأنوية الهيليوم ١٢% أما الإلكترونات والفوتونات و النوية الثقيلة فتكون بنسب ضئيلة جدا . [١]

تم اكتشاف الأشعة الكونية سنة ١٩١٢ من قبل العالم النمساوي ^(١) HESS الذي استخدم منطاد هوائي على ارتفاعات عالية فوجد زيادة في الاشعاعات المتأينة مع زيادة الارتفاع واستنتج أن مصدر التأين هو وجود أشعة آتية من الفضاء الخارجي .

في بداية ١٩٠٠ بدأ البحث في الأشعة الكونية حيث قام العالم ^(٢) Coulomb بتعليق كرة مشحونة في الهواء فلاحظ أن الكرة تفقد شحنتها مع مرور الوقت لكن Coulomb لم يتمكن من تفسير ناقلية الهواء. أعاد التجربة Geitel - Elester وتم تفسير ناقلية الهواء بوجود إشعاع مؤين في الغلاف الجوي لكن أصل هذا الإشعاع لم يكن واضحا. بعد ذلك توصل مليكان ^(٣) Millikan إلى أن مصدر التأين يكون من خارج الغلاف الجوي وهو من أطلق عليها اسم الأشعة الكونية.

استخدم Pfozter عداد جيجر- ميلر لقياس شدة الإشعاع على ارتفاعات مختلفة فوجد أن الإشعاع يزداد مع الارتفاع إلى غاية ١٥ كلم يبدأ الإشعاع في التناقص بدا وكأن المصدر يقع على ١٥ كلم بعد هذه الشكوك خلصوا في النهاية إلى أن المصدر خارجي . [٢]

في سنة ١٩٣٨ Pierre Auger قام بوضع عدادين علي ارتفاعات جبال الألب تفصل بينهما ٣٠٠ متر

(Hess ١٨٤٥-١٩٢٣)

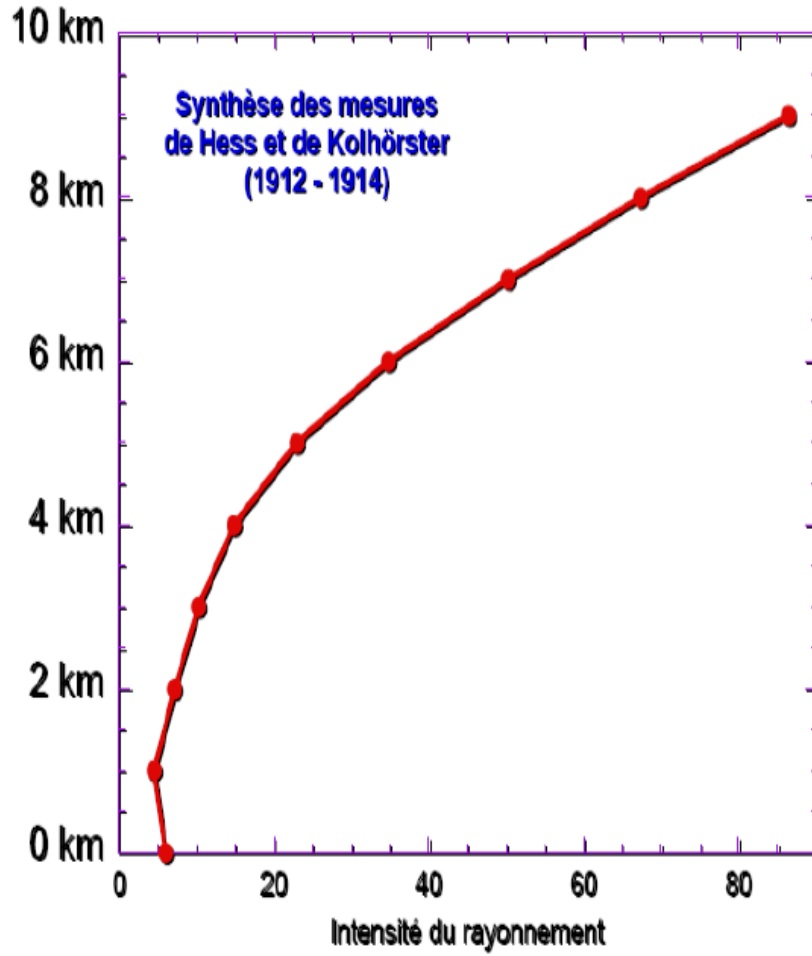
Coulomb (١٧٣٦-١٨٠٦)

Millikan(١٨٦٨-١٩٥٣)

فلاحظ انهما يرصدان الجسيمات ،تأتي في نفس الوقت على شكل حزم عريضة ناتجة عن تصادم جسيمات ابتدائية ذات طاقات عالية مع جزيئات الغلاف الجوي سميت بالشلالات الهوائية تصل طاقتها الى 10^{10} ev .

و في سنة ١٩٦٢ تم اكتشاف اشعاعات فائقة الطاقة تصل حوالي 10^{20} ev لكن مصدر هذه الجسيمات يظل مجهولا إلى حد الساعة . [٣]

بدراسة الأشعة الكونية تم إكتشاف المادة المضادة (التي تنبأ بوجودها ديراك) باكتشاف البوزيترونات سنة ١٩٣٢ . تم كذلك إكتشاف الجسيمات مثل الميونات ١٩٣٨ و البيونات ١٩٤٧ .

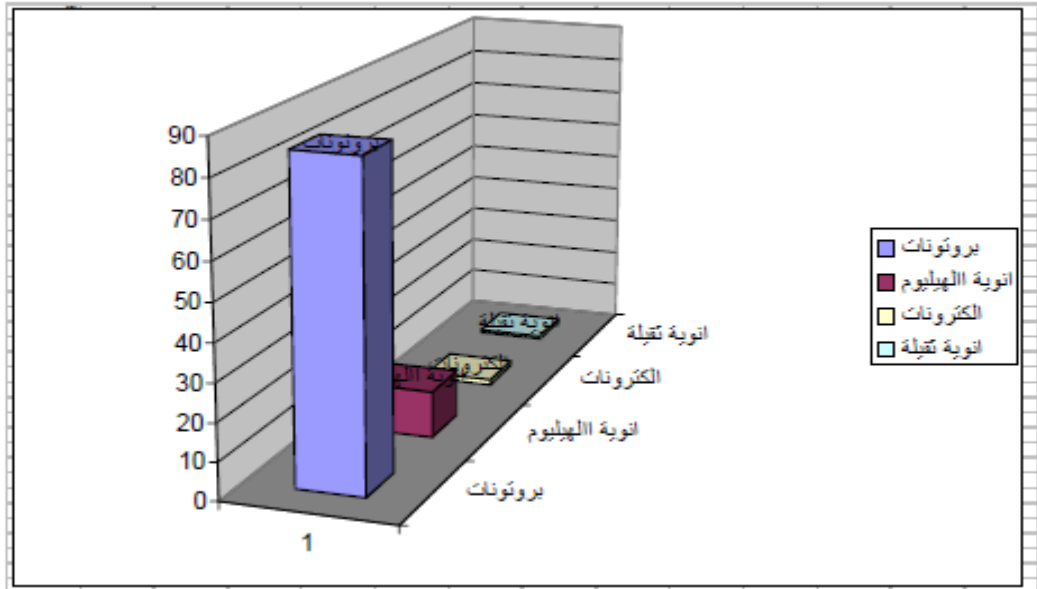


الشكل - ١ - يمثل شدة الاشعة بدلالة الارتفاع لتجربة Hess . [٢]

١-١ الاشعة الكونية الابتدائية :

بعد مغادرة الشعاع الكوني للجرم الذي نشأ فيه وانتشاره في الفضاء يتعرض الى تغييرات في الطاقة والمسار، بسبب تفاعله مع مختلف الجسيمات التي يصادفها في مسارها ، بالإضافة إلى تأثير الحقول المغناطيسية البين - مجرية و الحقول المغناطيسية المجرية .

عند وصول الشعاع الى الغلاف الجوي وقبل تفاعله يسمى بالشعاع الكوني الابتدائي. هذا الاخير قد يكون أحد انوية العناصر الموجودة في الجدول الدوري ابتداءا من الهيدروجين الى الانوية الاثقل. تمثل البروتونات نسبة %٨٥ وأنوية الهيليوم نسبة %١٢ وبنفس النسب التي تتواجد بها في النظام الشمسي الا بعض الاختلاف في عناصر الليثيوم (lithium)، البورون (boron) و البريليوم (biryllium) [١].

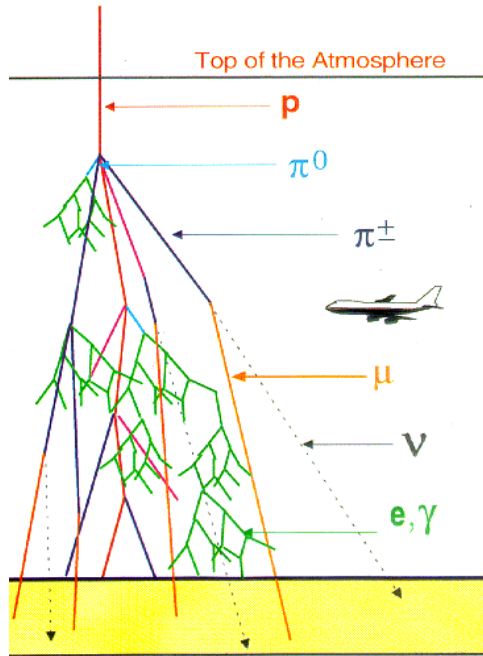


الشكل-٢- مكونات الاشعة الابتدائية-[٢]

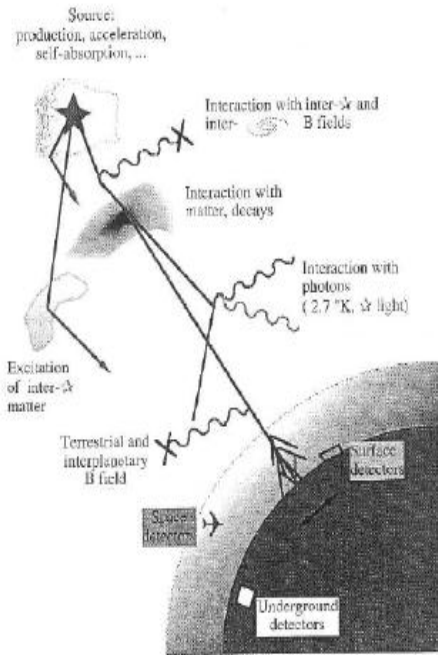
١-٢ الاشعة الكونية الثانوية :

نتيجة التفاعل بين الاشعة الابتدائية وجسيمات الغلاف الجوي (O,N) تتكون الاشعة الكونية الثانوية من نواتج التفاعل و بقايا الاشعة الابتدائية . إن تركيبة الاشعة الثانوية ليست متماثلة في مختلف طبقات الغلاف الجوي فبعض الجسيمات تختفي بسبب طبيعة التفاعلات أو بسبب قصر مدة حياتها . كما أن بعض الجسيمات يظهر فقط في الطبقات السفلى .

تتكون الأشعة الكونية الثانوية من الميونات، التي تشكل المكون الأساسي لها، و التي تفقد جزء من طاقتها في تأيين الهواء . ينتج عن تفكك الميونات إلكترونات ضعيفة الطاقة وكذلك يوجد البوزيترونات النوترونات والفوتونات . تحتوي الأشعة الكونية الثانوية كذلك على الأنوية الثقيلة التي تختفي في الطبقات العليا للغلاف الجوي لأنها تتفاعل مع جزيئات الهواء وتنتشر إلى أنوية أخف ولا يمكنها الوصول إلى سطح الأرض. ويوجد كذلك كل من النيوترونات الابتدائية والثانوية، هذه الأخيرة تنتج عن تفكك الجسيمات غير المستقرة كالميونات، البيونات و الكاونات و تشكل النيوترونات الميونية المركبة الأساسية.



nsive Air Showers



الشكل ٣- انتشار الأشعة الكونية على اليمين [٢] وعلى اليسار يمثل تشكل الجسيمات الثانوية [٤].

التمثيل الذي على اليسار يبين تشكل الجسيمات الثانوية انطلاقاً من جسيمة البروتون والتي ينتج عن تفاعلها جسيمات π (pions) وهذه الأخيرة بدورها تتفكك إلى ميونات ، إلكترونات و فوتونات .

٢- الطيف الطاقي :

تعرف الأشعة الكونية امتداد واسع عبر طيف طاقي تمتد فيه الطاقة ما بين $10^6 - 10^{21} \text{ eV}$

يعبر الطيف عن التدفق التفاضلي بدلالة الطاقة المعرف بعدد الجسيمات التي لها الطاقة ما بين E و $E+dE$ أو بمقدار التدفق التكاملي وهو عدد الجسيمات التي لها طاقة E . [١]

التدفق التفاضلي يتغير مع الطاقة حسب :

$$dN/dE=E^{-\gamma} \dots\dots(1)$$

حيث : N عدد الجسيمات
 E الطاقة الحركية
 γ الدليل الطيفي

يمكن تقسيم الطيف الطاقوي الى عدة مجالات :

- المجال الاول: $> 10 \text{ GEV}$ جسيمات هذا المجال معظمها تأتي من الشمس وهي الالكترونات، النيوترونات، الناتجة عن الاندماج النووي الحراري .

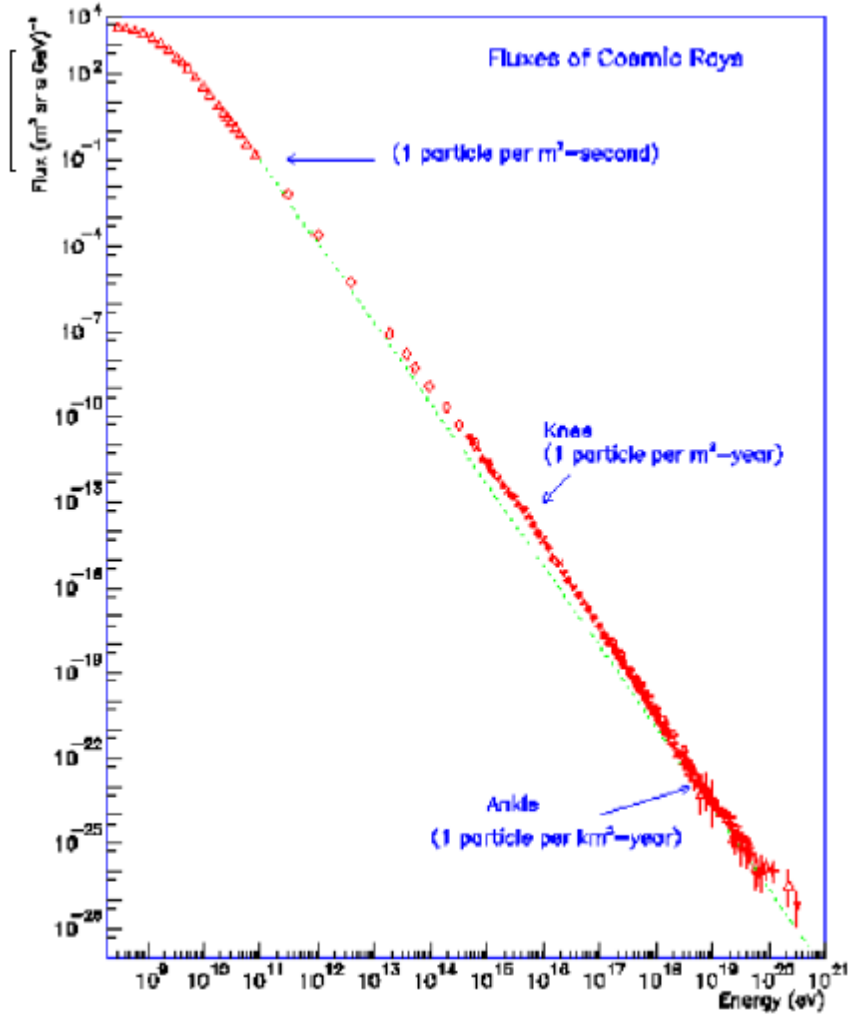
المجال الثاني : في هذا المجال يكون التدفق التفاضلي كالاتي : $dN/dE=E^{-2.7}$ و مصدر هذه الجسيمات هو المستعرات العظمى (supernova) والنجوم النيوترونية ،يمكن رصد هذه الجسيمات بواسطة الاقمار الصناعية و المناطيد. [٢]

- المجال الثالث [$10^{16} - 10^{18}$ الكترون فولط]: صيغة التدفق التفاضلي كالاتي $dN/dE=E^{-3.2}$ لا يوجد اي جرم مجري له القدرة على اصدار مثل هذه الجسيمات لان مصدر جسيمات هذا المجال من خارج مجرتنا (الانوية النشطة للمجرات NAG ،انفجارات غاما)، تسمى المنطقة ما بين $(10^{15} \text{ ev} - 10^{16} \text{ ev})$ بالركبة ويكون الدليل الطيفي (-٣) يتناقص التدفق بشكل اسرع حيث يتناسب مع الطاقة تدريجيا .

- القسم الرابع :اكثر من 10^{18} ev تقل سرعة التناقص على عكس ما يحدث في منطقة الركبة ويتغير التدفق حسب العبارة : $dN/dE=E^{-2.75}$ يمتاز بتناقص عدد الجسيمات الواردة .

- منطقة الكاحل: هي بوابة الطاقات العليا جدا الاكبر من 10^{18} وتمتاز بالتدفق الضعيف جدا حوالي جسيمة لكل كيلومتر مربع في القرن. [٥]

يعمل الباحثون على فك لغز اصل مصدر هذه الجسيمات فائقة الطاقة .



الشكل-٤- الطيف الطاقوي [٥]

٣- رصد الأشعة الكونية :

من أجل التعرف على مكونات الأشعة الكونية وقياس التدفق نقوم بعمليات الرصد، حيث توجد طريقتين أساسيتين هما الرصد المباشر و الرصد غير المباشر. [٦]

٣-١- الرصد المباشر :

يختص هذا النوع من الرصد برصد الجسيمات التي طاقتها أقل من ١ Pev لذلك تتفاعل الجسيمات مع الأجهزة بشكل مباشر في الأماكن المرتفعة كقمم الجبال، المناطق، الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية ولا يتم في هذا النوع رصد جسيمات ذات طاقة عالية لأنها ترد بتدفق جد ضعيف. المشكلة التي يواجهها هذا النوع هي عدم القدرة على استعمال أجهزة ذات حجم كبير والاستمرار لوقت طويل

وهذا لا يكون إلا في المحطات الأرضية. تستطيع الأقمار الصناعية رصد الجسيمات التي لا تزيد طاقتها عن 1 TeV

كما تستطيع الكواشف المحمولة في المناطيد رصد جسيمات تصل طاقتها إلى 100 TeV. [٧]

يوجد ثلاث أنواع من المراصد حسب طبيعة الجسيمات:

- الجسيمات المشحونة ،- الأشعة غاما و الأشعة السينية ، و النيوتريونات.

تحدد الأجهزة المستعملة في عمليات الرصد المباشر كتلة و شحنة الجسيمات من خلال قياس المقادير الحركية لها مثل الطاقة والسرعة ، من أهم التجارب التي أجريت في مجال الرصد المباشر للأشعة الكونية نجد:

أ- تجارب لرصد الجسيمات المشحونة :

١- تجربة AMS-٠١ (Alpha Magnetic Spectromter)

٢- تجربة (Poyload antimater-mater exploration and light nuclei)

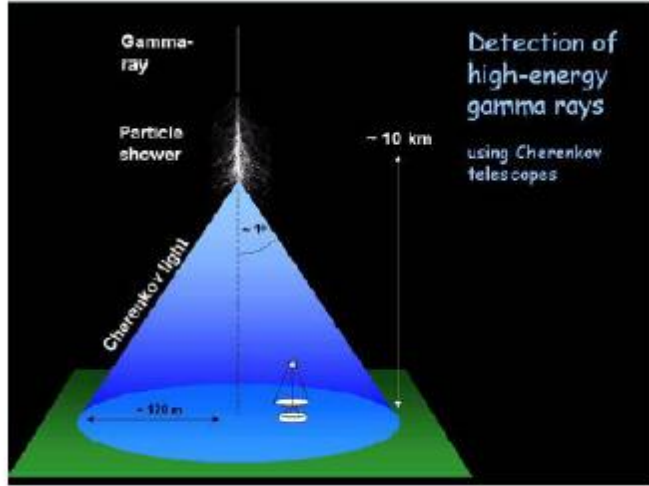
٣ PAMELA- تجربة AMS-٠٢ وهي النسخة الثانية من AMS-٠١ [٢]

ب- تجارب لرصد الأشعة غاما :

١- تجربة EGRET (energetic gamma ray expriment telescope)

٢- تجربة AGILA (astro-relelator gamma a immagini LEggero)

٣- تجربة GLAST (gamma-ray large area space telescope)



الشكل- ٥- رصد إشعاع غاما من خلال إشعاع شير نكوف [٥]

٣-٢- الرصد غير المباشر:

يخص الجسيمات عالية الطاقة ($E > 1 \text{ p ev}$) و التي تمتاز بضعف تدفقها حيث يبلغ التدفق عند p 1 ev حوالي جسيمة في المتر المربع خلال السنة ، و يبلغ عند 100 Pev حوالي جسيمة في الكيلو متر مربع خلال القرن.

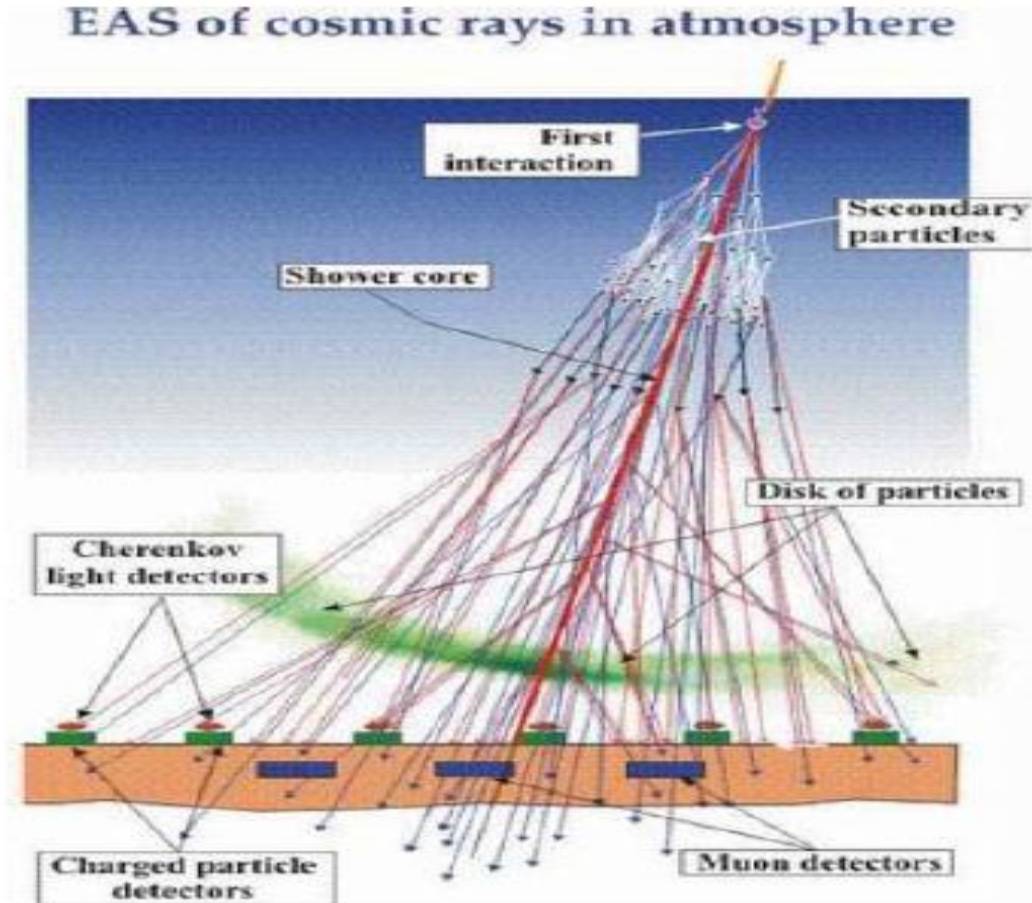
ترصد هذه الجسيمات انطلاقا من المحطات الارضية التي تقوم برصد الجسيمات الثانوية (الأشعة الكونية الثانوية) الناتجة عن تفاعل الجسيمات الابتدائية مع مكونات الغلاف الجوي .

تشكل الجسيمات الثانوية شلالات هوائية air shower تحتوي على كل أنواع الجسيمات الاولية ، يتم رصد الاشعاعات الضوئية الناتجة عن تطور الشلالات الهوائية مثل إشعاع شيرنكوف Tcherenkov وإشعاع الفلورة الأزوتية Fluorescence d'azote أو رصد الاشعاعات الراديوية .

يتم امتصاص الجسيمات الهادر ونية بسرعة داخل الغلاف الجوي على عكس الجسيمات الاخرى كالاكترونات ، البوزيترونات ، الميونات والاشعاعات الضوئية و الراديوية التي تستطيع كلها بلوغ سطح الارض بكميات كبيرة و عبر مساحات واسعة . وهذا ما يجعل رصد الجسيمات ممكن من خلال مرصد تمتد على مساحات شاسعة و بالتالي تكون فعاليتها كبيرة ، إذ مكنت هذه العمليات من رصد شلالات هوائية ناتجة عن أشعة كونية ابتدائية تبلغ طاقتها 10^{11} ev [٧,٥]

من اهم محطات الرصد غير المباشر نجد:

المحطة اليابانية : AGASA (aekeno giant air shower array) ترصد الجسيمات التي طاقتها اكثر من 10^{10} eV, المحطة الامريكية Hires المحطة الدولية الواقعة بالأرجنتين Pierre Auger المحطة النمساوية Hess (high energy stereoscopic system) . [٢] .



الشكل -٦- مخطط لعملية رصد جسيمة عالية الطاقة من خلال شلال هوائي .

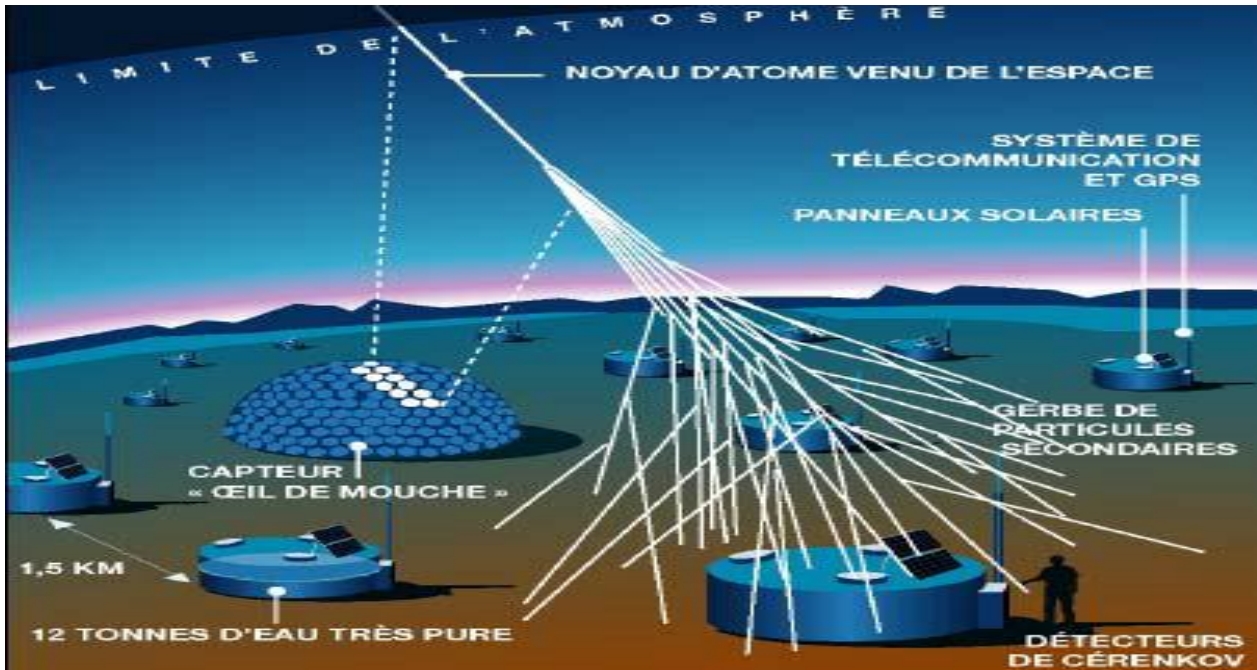
مرصد : Pierre Auger

من أجل دراسة الاشعة الكونية التي ترد بطيف طاقي واسع تصل طاقته إلى أكبر 10^{18} eV و إحصاء تدفقها كان من الضروري وجود مساحات شاسعة مخصصة للرصد وهذه الصعوبة التي واجهت الفيزيائيين .

مرصد Pierre الموجود في منطقة PAMPA الارجنتينية يقع على إرتفاع ١٤٠٠ m ، والعمق الجوي 875g/cm^2 بني خصيصا لرصد الشلالات الهوائية الناتجة عن شعاع كوني فائق الطاقة . يغطي مساحة أكثر من ٣٠٠٠ km هذا المرصد يعتمد على تقنيتين ، من جهة شبكة خارجية تكشف إشعاع شيرنكوف، ومن جهة أخرى يحتوي على مجموعة من ٤ كواشف تعمل على كشف إشعاع الفلورة . المعطيات التي نحصل عليها انطلاقا هذا من المرصد الذي يسمح بدراسة الجسيمات التي تزيد طاقتها عن طاقة GZK . يمثل الشكل (٧) مرصد pierre . ولا يزال البحث قائما عن مصدر الجسيمات فائقة الطاقة .

كواشف المستقبل : في المستقبل القريب مرصد pierre الشمالي المتمركز في الولايات المتحدة الأمريكية الذي سيقاس تدفق الأشعة الكونية عالية الطاقة في نصف الكرة الأرضية الشمالي مع محاولة زيادة مساحات الرصد بالنسبة لملاحظ الجنوب ويعتمد على تقنيتين مع متابعة استعمال الرصد الراديو ي.

المشروع JEM-EUSO مرصد ياباني بمشاركة عالمية ، خاصيته أنه يختص برصد إشعاع الفلورة للشلالات بوضع كواشف على متن المركبات الفضائية أو في أقمار صناعية. [٥].



الشكل - ٧ - كاشف Pierre Auger [٥].

٤- مصادر الأشعة الكونية :

تطرقنا سابقا لأقسام الطيف الطاقوي وحسب ذلك التقسيم يختلف مصدر الأشعة الكونية فالأشعة التي طاقتها اقل من 10^{10} eV تكون ناتجة عن النشاط الشمسي ،الأجرام الفلكية الموجودة في مجرتنا مثل المستعرات العظمى و النجوم النوترونية.[٧]

أما مصدر الجسيمات فائقة الطاقة فلايزال يشكل أحد أهم الاسئلة في الفيزياء الفلكية ، فالسؤال الذي نطرحه من أين أنت هذه الأشعة ؟ أو ماهي الظاهرة التي تعطي لنا اشعة بطاقات فائقة؟

يوجد نموذجين لشرح مصدر هذه الأشعة وهما : " bottom up " و " top down "

٤-١- bottom up : هذه الطريقة تعتمد على آلية التسريع ويتم فيها مبدئيا التمييز بين مصادر الجسيمات ومصادر الطاقة فقد تكون مصادر الجسيمات هي نفسها الاماكن التي تتم فيها عملية التسريع ، فالجسيمات يمكن أن تتسرع أو تكتسب طاقات إضافية في مناطق أخرى من الفضاء أثناء انتشارها .

من بين الاجرام المرشحة لان تكون مصادر جيدة للأشعة الكونية نجد انفجارات غاما، النجوم النيوترونية النجم النابضة والمجرات ذات المراكز النشطة . [٦,٨]

٤-٢- top down :

تعتمد هذه الطريقة على تفكك الجسيمات فائقة الكتلة والتي تعود نشأتها إلى اللحظات الاولى بعد الانفجار العظيم (big bang) والتي تنتج بالضرورة أشعة فائقة الطاقة. كان الكون في بداية تشكله قبل ١٥ مليار سنة ذو كثافة و حرارة عاليتين جدا وكانت كل القوى موحدة ، و تحت تأثير كل من الضغط والجاذبية يبدأ الكون في التوسع إلى أن يبلغ مرحلة ينكسر فيها التناظر (تتفكك القوى) بفعل التشوهات الطوبولوجية . في هذه المرحلة من تطور الكون تنتج جسيمات ذات كتل كبيرة جدا ، تفرض النظريات أن يكون زمن حياة الجسيمات عالية الكتلة من نفس رتبة عمر الكون . تفكك هذه الجسيمات ينتج عنه جسيمات ذات الطاقة الأكثر من 10^{10} eV. [٦,٨]

٥- آليات تسريع الجسيمات إلى طاقات عالية :

من بين الآليات المقترحة لتسريع جسيمات الأشعة الكونية :آلية التسريع بالحقول الكهربائية وآلية Fermi.

١-٥-آلية التسريع بالحقول الكهربائية :

إن أبسط طريقة لتسريع الجسيمات هي التأثير بالحقل الكهربائي لأن الأشعة الكونية تحتوي جسيمات مشحونة، إلا أن التسريع الكهروستاتيكي أمر مستبعد لأنه لا يمكنه الوصول إلى طاقة من رتبة 10^{20} eV بسبب الحاجة إلى فرق الكمون الكبير جداً، حيث لا يوجد أي جرم له القدرة على توفير هذا الكمون. أما التسريع بالحقول الكهربائية المحرصة التي تنتج من الحقول المغناطيسية غير المستقرة أمر أكثر واقعية لأن الحقول المغناطيسية متواجدة في كل أنحاء الكون فيمكن لأي جسيمة شحنتها ze التحرك داخل حقل شدته B أن تكتسب طاقة قيمتها العظمى :

$$\mathbf{E}_{\max} = Ze.B.L.\gamma \quad \dots\dots\dots(٢)$$

حيث:

L : طول الجرم Ze : شحنة الجسيمة

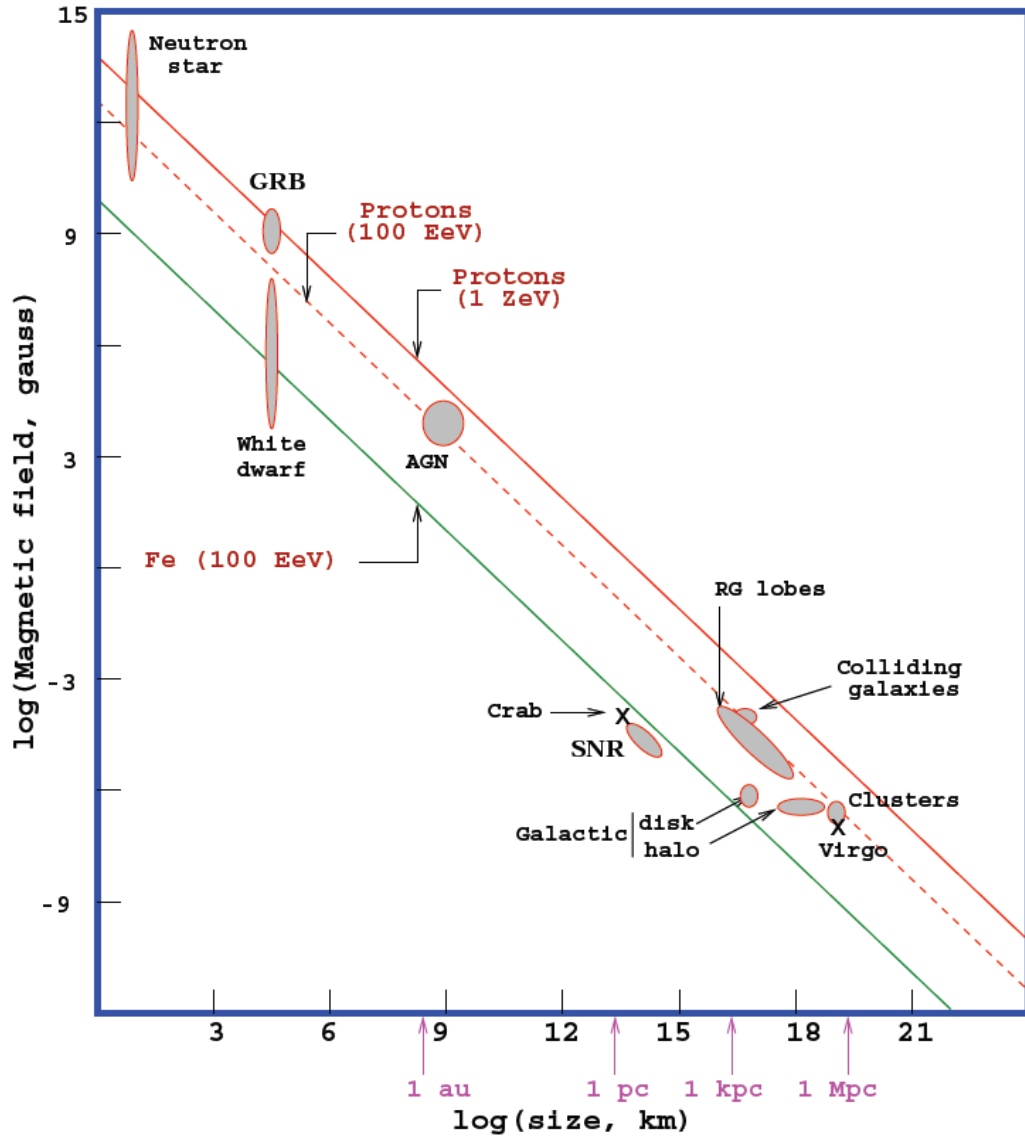
B : شدة الحقل المغناطيسي γ : معامل لورنتز

تعتبر النجوم النابضة والنجوم النيوترونية وانفجارات غاما من أهم المصادر التي تسرع الجسيمات بالحقول المغناطيسية. مثلاً النجوم النيوترونية يكون لها حقل مغناطيسي عال الشدة وبفعل الدوران السريع ينتج عنه حقل كهربائي شديد القوة هذا ما يؤدي إلى تسريع الجسيمات المشحونة إلى غاية 10^{19} eV

و إذا كانت سرعة دوران النجوم النيوترونية تصل إلى 10^{-2} وفي وجود حقل مغناطيسي جد كثيف $G10^{12}$ تكون هذه النجوم قادرة على تسريع أنوية الحديد إلى طاقة تبلغ 10^{21} eV [١,٨]

الصعوبة التي واجهت آلية التسريع بالحقول الكهروستاتيكية: هي عدم قدرتها على تفسير الطبيعة

$$\frac{dN}{dE} \propto E^\alpha \quad \cdot \quad \text{الأسية للطيف الطاقوي التفاضلي}$$



الشكل ٨- مخطط هيلاس مصادر الجسيمات ومواقع تسريعها مدرجة حسب حجمها و الحقل المغناطيسي

الموجود بها . [٦]

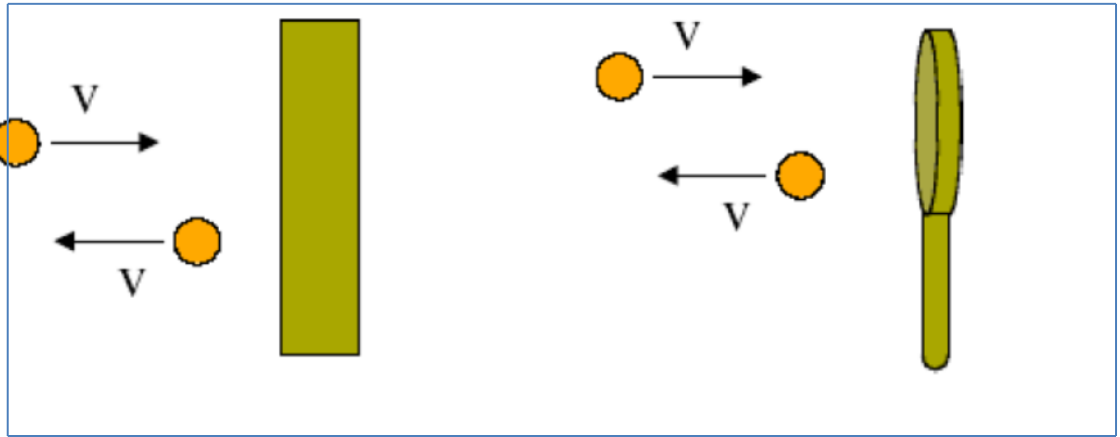
يوضح مخطط هيلاس مختلف الاجرام التي ترد منها الجسيمات حسب الحقل المغناطيسي وحجم الجرم فمثلا النجوم النترونية حجمها صغير و تتميز بحقل مغناطيسي عالي الشدة فهي تسرع جسيمات عالية الطاقة ، بالإضافة لانفجارات غاما أيضا لها نفس الخصائص لذلك تعتبر من المصادر التي تسرع الجسيمات إلى طاقات فائقة . [٦]

٥-٢ آلية تسريع Fermi :

تعتمد فكرة Fermi على أن الجسيمات تتسارع عندما تكتسب طاقة نتيجة تفاعلها مع الحقول المغناطيسية . تحتوي هذه الآلية على نموذجين:

٥-٢-١ النموذج الأول أو التسريع من الرتبة الثانية:

وفيه تتفاعل الجسيمات المشحونة مع السحب المغناطيسية المنتشرة في الوسط البين-النجمي (وتتبادل معها الطاقة) حيث تتصرف هذه الأخيرة مثل مضرب كرة تنس يزودها بطاقة حركية عن الصدمات المتعاقبة إلى أن تصل طاقة الأشعة الكونية ما يفوق 10^{20} eV ، واجه هذا النموذج عدة صعوبات أهمها أن الزمن اللازم لاكتساب طاقة عالية طويل جدا ما يفوق مدة حياة الأشعة الكونية، حيث المسافات بين السحب المغناطيسية كبيرة جدا كما أن الجسيمات تفقد جزء من طاقتها نتيجة عبورها الغبار المنتشر في الفضاء البين نجمي

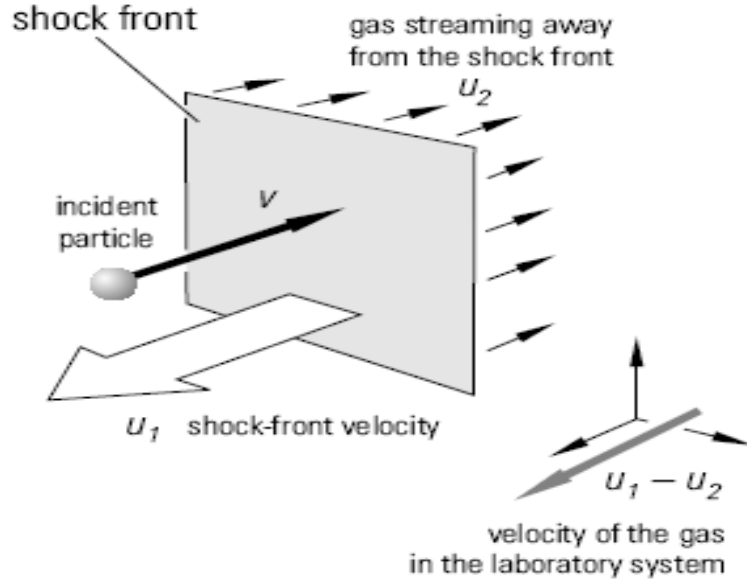


الشكل-٩- ارتداد كرة على حائط أو مضرب كرة- [٦]

٥-٢-٢ النموذج الثاني أو التسريع من الرتبة الأولى:

هذه الآلية جاءت لتحسين النموذج الأول والتي تعتمد على فكرة التصادم بين الجسيمات و السحب الممغنطة أين تواجه الجسيمات أمواج الصدمة (ondes de choc) مثل ما يحدث في المستعرات العظمية إذ تبلغ سرعة السحب الذي تقذفها المستعرات في الوسط البين-نجمي حوالي 10^4 km/s.

إن هذا النموذج يفسر الطابع الاسي للطيف الطاقوي التفاضلي كما أن التسريع بهذه الآلية يمكن الجسيمات من اكتساب طاقة تفوق 10^{15} eV. [٨].



الشكل- ١٠- تفاعل الجسيمات مع أمواج الصدمة [٢]

٦- مواقع التسريع:

من بين المواقع التي يحدث فيها التسريع و التي قد تكون مصدر للأشعة الكونية عالية الطاقة نجد:

٦.١ المستعرات العظمى (supernovae)

ينفجر النجم الذي تزيد كتلته عن ٨ أضعاف كتلة شمسنا في نهاية حياته بعد أن يستنزف مركبه الاساسي الهيدروجين . يتشكل في مركزه انوية أثقل من الهيدروجين مثل : He , Ne , C و مركبات اخرى عن طريق الاندماج النووي، ليصبح في الاخير مركز النجم يحتوي بشكل رئيسي على أنوية الحديد المتشكلة . وبفعل الجاذبية تنتهي عملية الاندماج فينهار النجم الهائل مما يزيد من درجة الحرارة و الضغط في المركز فينفجر هذا النجم ويقذف مادته بسرعة كبيرة مشكلا موجة اهتزازية قوية في الوسط البين نجمي ، حيث تسرع الجسيمات المشحونة في هذه الصدمة طبقا لآلية Fermi [٥].

٦.٢ - النجم النابض *pulsar* :

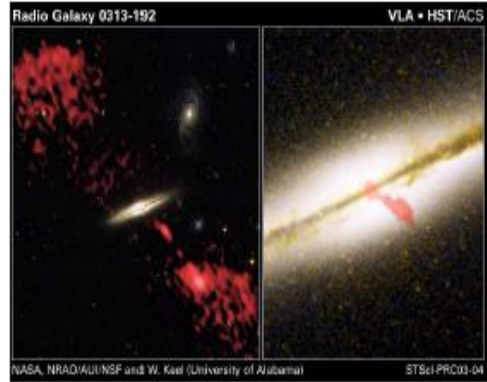


الشكل - ١١ - يمثل صورة للنجم النابض [٥]

النجم النابض هو نجم نيتروني ذو كثافة هائلة ، كروي الشكل يقارب نصف قطره حوالي (١٠ Km) وهو عبارة عن خلاصة انفجار المستعرات العظمى كما يمتاز بحقل مغناطيسي كبيراً جداً مما يؤدي الى دورانها حول نفسها بسرعة كبيرة و لأجل

هذا يعتبر النجم النابض من المواقع المناسبة لتسريع الجسيمات . [٨]

٣-٦ - الانوية المجرية النشطة :

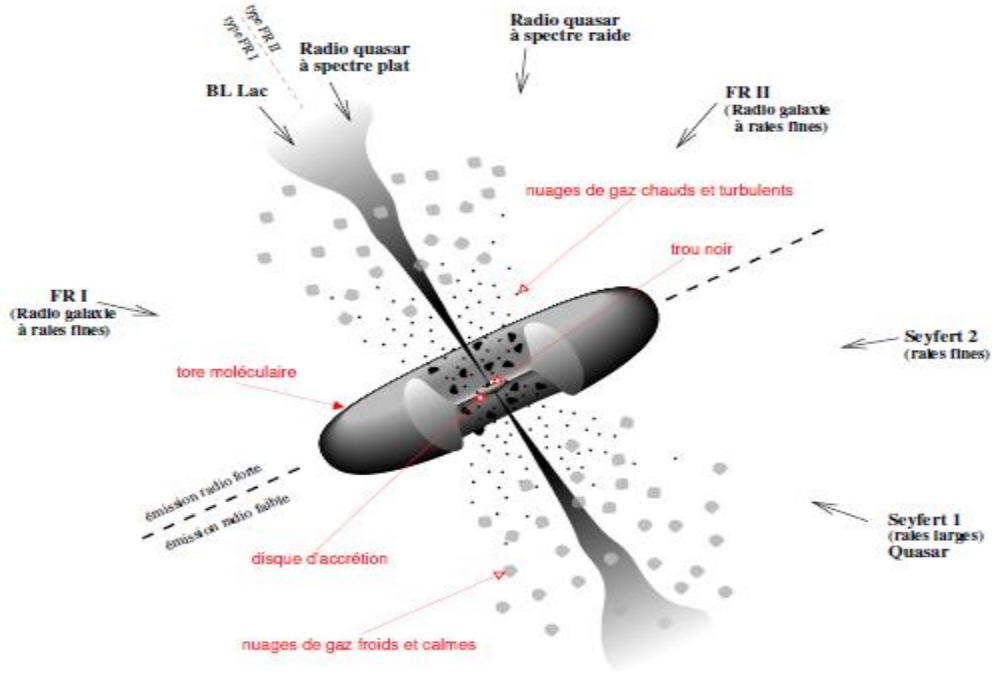


الشكل-١٢ --على اليسار مجرة نشطة NGC وعلى اليمين مجرة راديوية [٥]

بعض المجرات تملك أنوية نشطة وهي أكثر الأجرام السماوية إضاءة ، تتكون أساساً من ثقب أسود تزيد كتلته عن (10^6) من كتلة الشمس في المركز، يحيط به قرص التراكم سريع الدوران مما يتسبب في تشكل زوج من المقذوفات (jets) على طول محور الدوران. [٨,٥]

تعتبر الانوية المجرية النشطة كمصدر للأشعة الكونية من خارج المجرة.

من الخصائص الرئيسية للانوية المجرية النشطة أنها تبعث اشعاعات على طول الطيف الضوئي (اشعة تحت الحمراء الى الاشعة السينية) بالإضافة الى اشعة غاما، تعتبر من مواقع تسريع البروتونات الى طاقات تصل الى 10^{11} eV.



الشكل-١٣- تمثيل لمختلف أنواع الانوية المجرية النشطة [٥]

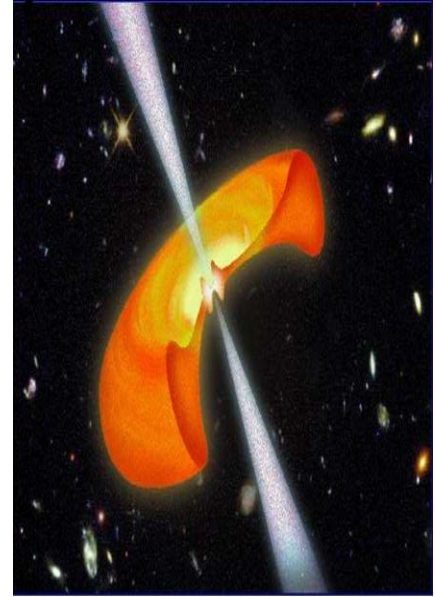
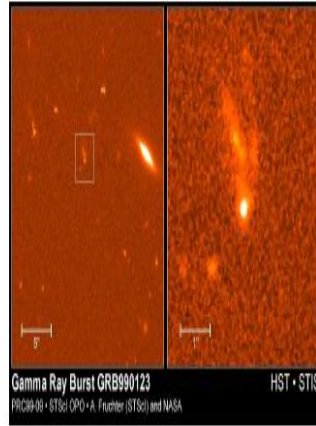
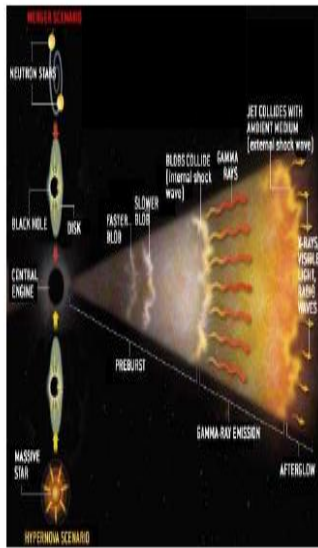
٦-٤- انفجار غاما :

يعتبر من أعظم مصادر الطاقة في الكون ولحد الآن لانعرف آلية عملها بالضبط، حيث يحدث انفجار ذو طاقة عالية جدا في فترة زمنية قصيرة من رتبة ١٠٠٠ جزء من الثانية الى بعض الثواني، ينتج عن هذا الانفجار إشعاع غاما ذو طاقة هائلة، تصل طاقته الى 10^{51} erg (وحدة لقياس الطاقة). تتموقع هذه الانفجارات على مسافات كونية كبيرة.

من أهم المراصد التي تبحث في هذا المجال (٢ HETE, ١ HETE, BATSE).

من الناحية النظرية يوجد نموذج الكرة النارية الذي يفسر بعض ملاحظات انفجارات غاما.

تتكون الكرة النارية المتكونة اساسا من بلازما الفوتونات، الالكترونات و البوزيترونات . يحدث الانفجار بسبب الكثافة الهائلة الناتجة عن الحجم الصغير للجرم والضغط العالي ، كما ان توسع انفجار البلازما يسمح بتسريع الجسيمات المشحونة في الموجات الاهتزازية وهذا ما ينتج عنه اشعاع synchrotron نتيجة لوجود الحقل المغناطيسي . وهو ما يفسر تدفق الاشعة غاما بطاقات عالية جدا، يتوقع أن مصدر الاشعة الكونية ذات الطاقات الاكبر من 1Eev مصدرها انفجارات غاما.[١،٨،٥]



الشكل- ١٤- على اليمين يمثل إشعاع غاما، في الوسط تشكل انفجار غاما وعلى اليسار نماذج تكون الانفجار [٥].

٧- القطع GZK :

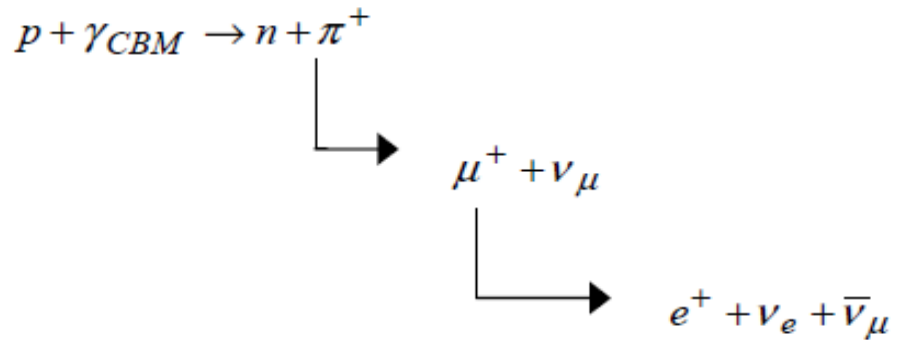
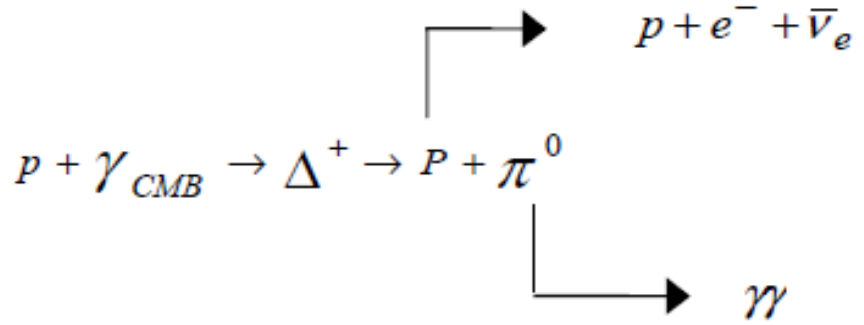
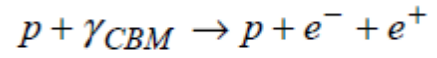
الإشعاع الخلفي الكوني "Cosmic Microwave Background" هو إشعاع كهرومغناطيسي متمائل المناحي (يأتي من كل اتجاهات الفضاء و بنفس الشدة) ، يوافق بتقريب جيد الإشعاع الصادر عن الجسم الاسود بدرجة حرارة ٣ K، اكتشاف هذا الإشعاع يمثل دليل كبير على "نظرية الانفجار العظيم". [٩]

في عام ١٩٦٥ تم اكتشاف فوتونات CMB من قبل العالمان Wilson et Penzion وقد قدرت كثافتها بحوالي ٤٠٠ فوتون/cm³ . وفي عام ١٩٦٦ تنبأ كل من Zatspin, V.A Kuzmin و Geisen أن الانخفاض الحاصل في تدفق الاشعة الكونية على مستوى الكاثل (انظر الطيف) يعود إلى تفاعل الاشعة الكونية مع فوتونات CMB و أطلق على هذه الظاهرة اسم القطع GZK، إلا أن

الإشكال المتبقي يخص الأشعة التي تفوق طاقتها 10^{19} eV و كيفية تسريعها إلى هذه الطاقة العالية ، و موقع مصادرها خاصة وأنها لا تستطيع المحافظة على هذه الطاقة أثناء انتشارها في الفضاء إلى غاية وصولها الأرض إضافة إلى تواجدها على مسافات كوسمولوجية كبيرة (100 Mpc).

البروتونات تتفاعل مع فوتونات CMB فينتج بيونات وبروتونات هذه الأخيرة تعطي إلكترون ، نيترينو وبروتون ، وهذا التفاعل هو سبب القطع GZK حيث تناقص تدفق الجسيمات وهذا يوافق منطقة الكاحل. تفقد البروتونات حوالي 10% من طاقتها أثناء تفاعلها مع فوتونات CMB. [6]

و التفاعلات التي تسبب القطع GZK هي:



٨- الشلالات الهوائية :

تتفاعل جزيئات الغلاف الجوي مع جسيمات الأشعة الكونية (الجسيمات الابتدائية)، يلي هذا التفاعل سلسلة من التفاعلات ينتج عنها الآلاف بل الملايين من الجسيمات الثانوية، هذا ما يسمى بالشلالات الهوائية [١]. تمتد هذه التفاعلات في التفرع مشكلة بذلك عدد هائل من الجسيمات إلى أن تصبح الجسيمات غير قادرة على إنتاج جسيمات أخرى أي تصبح لها طاقة حرجة [٦]. تسمى هذه المرحلة من تطور الشلال الهوائي بالحد الأعظم للشلال تتميز بعدد أعظمي للجسيمات. بعد هذه المرحلة يتناقص عدد الجسيمات إلى أن تصل إلى سطح الأرض فتتوزع على مساحة تقدر ب ١٠% في كلم^٢ الواحد. [٥] حسب طبيعة الجسيمات يمكن أن يقسم مركبات الشلال إلى ثلاث المركبات : مركبة كهرومغناطيسية، المركبة الهادرونية والمركبة الميونية بالإضافة إلى جسيمات النيتريو. تعتبر الميونات ومركبة النيتريو المركبتين الأكثر تواجد بالقرب من سطح البحر وتحت سطح الأرض لقلة تفاعلها مع الجسيمات الأخرى. [٢]

فيوجد نوعين من السلاسل :

٨-١ السلاسل الكهرومغناطيسية :

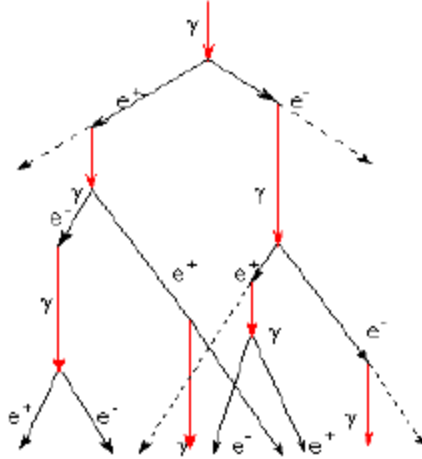
تمثل سلسلة التفاعلات التي تشمل الفوتونات، الإلكترونات والبوزترونات عالية الطاقة. ينتج عن الفوتون الابتدائي الزوج e^-e^+ . يتفكك الكترون فيصدر فوتون يسمى إشعاع Bremsstrahlung الذي ينتج عنه e^-e^+ وهكذا تستمر سلسلة التفاعلات، يصاحبها زيادة عدد الجسيمات إلى أن يصبح الإلكترونات غير قادرة على إنتاج إشعاع. بالإضافة إلى أنها تفقد طاقتها عن طريق التأين. إذن من أهم الظواهر التي تحدث في السلسلة الكهرومغناطيسية : خلق الزوج e^-e^+ ، إشعاع الكبح (Bremsstrahlung) بالإضافة إلى مفعول كومبتون Compton. تتواجد الجسيمات الكهرومغناطيسية بشكل أساسي في هذه السلسلة وبشكل ثانوي في السلسلة الهادرونية. [٥]

• الزوج e^-e^+ :

ينتج الزوج من تفاعل الفوتون مع حقل كهربائي لجسيمة مشحونة خلال اختراقه للغلاف الجوي، وذلك من أجل فوتون طاقته أكبر أو تساوي MC^2 . يلي هذا التفاعل مباشرة إخماد الزوج، حيث البوزيترونات الناتجة تتفاعل مع الكترونات الوسط، ينتج لنا زوج من الفوتون طاقة كل منهما ٠.٥١١ Mev [٥,٨].

• إشعاع الكبح :

تتسارع الجسيمات المشحونة أو تتباطأ بعد دخولها الغلاف الجوي بفعل حقل كولومبي coulombien و هذا ما يؤدي إلى بعث فوتونات ، تسمى بظاهرة الكبح .تعتبر الالكترونات والبوزيترونات من أكثر الجسيمات تأثرا بظاهرة الكبح. [٥,٨]



الشكل-١٥- السلسلة الكهرومغناطيسية [٢].

٨-٢ السلاسل الهادرونية :

نقول عن السلسلة أنها سلسلة هادرونية إذا كانت الجسيمات الناتجة عن تفاعل النيوكليونات أو الانوية مع جزيئات الهواء ذات طبيعة هادرونية ، والتي هي البيونات (π^0, π^+, π^-) والكاونات (K^0, K^+, K^-) حيث تمثل البيونات الاغلبية العظمى للجسيمات. [٦,٨]

تحتوي المركبة الهادرونية على سلسلة كهرومغناطيسية تنتج عن تفكك البيونات المتعادلة كهربائيا وعلى سلسلة هادرونية تنتج من تفكك الكاونات والبيونات المشحونة.

$$\gamma + \gamma \quad \pi^0 \quad (99\%)$$

ينتج عن تفاعل هاته الفوتونات مع الانوية تشكل الأزواج e^+e^- :

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

والازواج بدورها وعن طريق الكبح تؤدي إلى إصدار إشعاع كهرومغناطيسي .

تتوقف البيونات عن إنتاج بيونات أخرى عندما تصل طاقتها إلى الطاقة الحرجة ١٠ GeV، أما النيوكليونات تصبح غير قادرة على إنتاج البيونات عندما تكون طاقتها أقل من ٢ [MeV ٢٠٠].

تتفكك البيونات إلى ميونات ونيوترونات عن طريق التفاعل

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} (\bar{\nu}_{\mu}) \quad (\approx 100\%)$$

تتفكك بعدها الميونات إلى الكترونات ونيترينو كما يلي

$$\mu^{+} \rightarrow e^{+} + \nu_e + \bar{\nu}_{\mu}$$

$$\mu^{-} \rightarrow e^{-} + \bar{\nu}_e + \nu_{\mu}$$

تعطي الكاونات عند تفككها البيونات، الميونات والازواج e^+e^- والاشعاع γ

$$K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{+} + \pi^{-} \quad (7\%)$$

$$K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^0 \quad (21\%)$$

$$K^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (64\%)$$

تتواجد الهادرونات عالية الطاقة في قلب الشلال وتغذي باستمرار الاجزاء الكهرومغناطيسية. [٦]

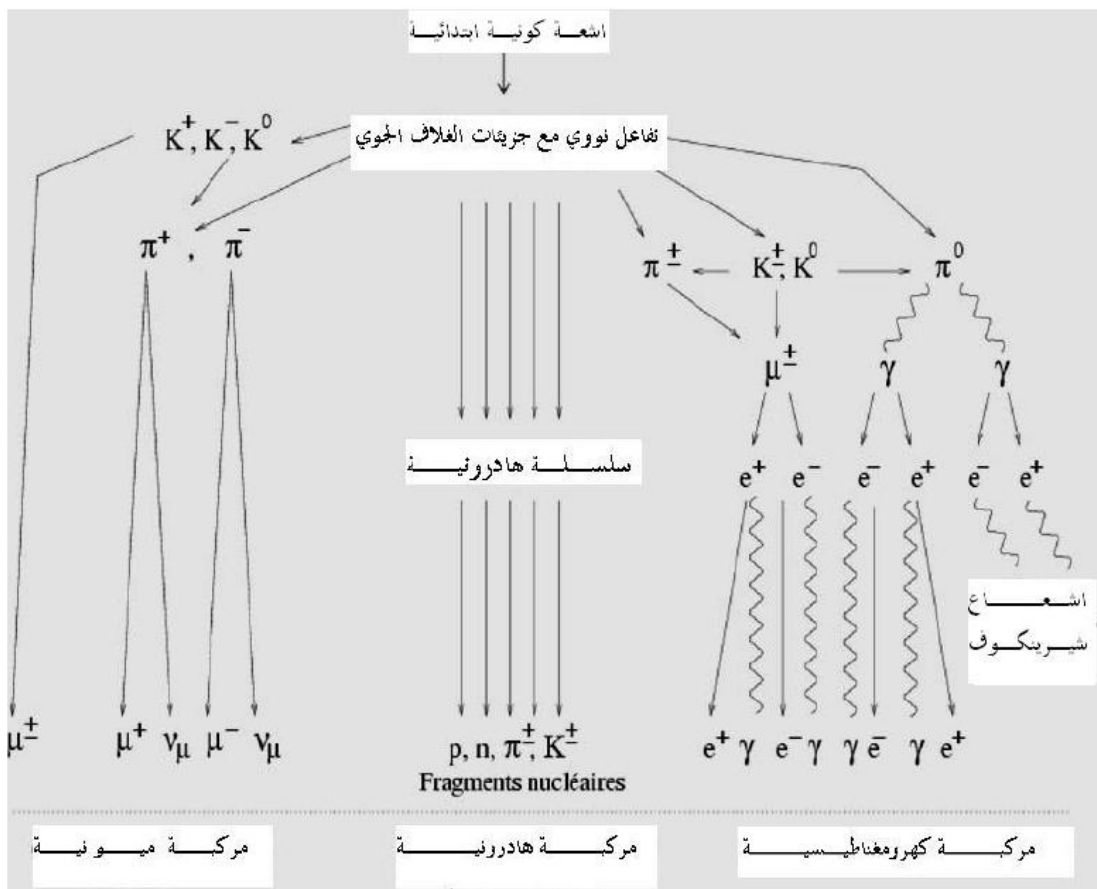
إشعاع شيرينكوف: هو إشعاع يصدر عند عبور جسيمة في وسط معين تكون سرعتها في هذا الوسط أكبر من سرعة الضوء في هذا الوسط، فتخسر جزء صغير من طاقتها ويكون هذا الإشعاع في الطيف فوق بنفسجي أو الأزرق.

إشعاع الفلورة: الجسيمات المشحونة تتفاعل على طول تطور الشلال مع جزيئات الأزوت المثارة في الغلاف الجوي تصبح هذه الجزيئات غير مثارة فتصدر إشعاع يسمى بإشعاع الفلورة الأزوتية في كل

الاتجاهات يصدر إشعاع الفلورة في المنطقة فوق البنفسجية (٣٠٠-٤٠٠ nm). نتابع تطور الشلال الهوائي الناتج عن تفاعل شعاع الكوني في الغلاف الجوي بفضل إشعاع الفلورة، لكن العائق الموجود هو أن الرصد لا يتم إلا في الليل وفي غياب القمر. [٦]



الشكل - ١٦ - يمثل تجربتين لإشعاع الفلورة لـ Hires الأولى في ١٩٨١ (اليسار) والثانية في ١٩٩٦ (اليمن) [٥]



الشكل - ١٧ - مركبات الشلال الهوائي [٢]

الغلاف الجوي : الغلاف الجوي هو الوسط الذي تتواجد به الجسيمات وتنتشر فيه، حيث يكون التفاعل بين الشعاع الكوني الابتدائي و جسيمات الغلاف الجوي . الغلاف الجوي ذو طبيعة غازية يتكون من ٩٠% من الكتلة موجودة على إرتفاع ١٨ كلم من سطح البحر ، ١% من الكتلة توجد فوق ٣٢ كلم .

يتكون الغلاف الجوي من ٧٨.٠٨% من جزيئات الأوزون و ٢٠.٩٥% من جزيئات الاوكسجين ، ٠.٩٣% من الارقون (Ar) و ٠.٣٦% من غاز الكاربونيك والغازات الاخرى تمثل نسب ضئيلة جدا .

بمعرفة الكتلة المولية الغلاف الجوي يمكن تحديد كثافته من أجل مختلف الحسابات كفقد الطاقة ، الشلالات الهوائية ، عمق الغلاف . هذا الاخير يحسب بتكامل الكثافة خلال الارتفاع المجتاز.[٥]

يمتد الغلاف الجوي إلى مئات الكيلومترات حول الارض يمكن أن نقسمه إلى عدة طبقات:

المجال الاول: homosphère: يتكون من عدة طبقات :

١- Troposphère : (يمتد إلى غاية ١٠ كلم)يمثل ٥/٦ من الغلاف الجوي ويحتوي على بخار الماء وغاز الكاربونيك والغبار إلى غاية ٣ كلم ،درجة الحرارة تنخفض تدريجيا من ٦.٥° في ١٠٠٠ متر إلى غاية(٧٥-°).

٢-stratosphère: (يمتد من ١٠-٥٠ كلم) يغذي طبقة الاوزون ويمتص الاشعة فوق البنفسجية .

٣- mésosphère: يصل حتى إلى ٨٠ كلم الطبقة الحدية mésopause درجة الحرارة تنخفض مع زيادة الارتفاع إلى غاية -١٠٠° وهي الطبقة الاكثر برودة .

المجال الثاني: hétosphère: يتكون هو أيضا من عدة طبقات

١- thermosphère: تتأثر أكثر من غيرها بالأشعة فوق بنفسجية و الاشعة السينية ،تتميز بتغير درجة الحرارة بدلالة الارتفاع وينقسم هذه الطبقة بدورها إلى :

L'ionosphère,métasphere,prtosphère

المجال الثالث : أكبر من ١٠٠٠ كلم الطبقة الاكثر علو في الغلاف الجوي تتكون من الهيدروجين والهيليوم بشكل رئيسي .[٥]

٩- خصائص الشلالات الهوائية:

من أجل دراسة الشلالات ومعرفتها تطورها ولتركيبها الكيميائي نركز على بعض الخواص التي تسهل هذه الدراسة، منها:

المحور: محور الشلال هو المستقيم الموافق للمسار الذي تتركه الجسيمة الابتدائية الواردة، ونعرفه أيضا على أنه اتجاه وصول جسيمات الشلال للأرض بحيث تنتشر الجسيمات الثانوية بصفة كلية حول المحور. [٦]

القلب: هو المنطقة التي تنتشر فيها الجسيمات الثانوية بجوار المحور.

الجبهة: يدل مجموع الجسيمات الثانوية المنتشرة نحو الأرض بسرعة تقارب سرعة الضوء، تضبط جبهة الشلال بعدد الجسيمات مضاعفة الانتشار والتي يكون مسارها طويل باعتبار المقادير الفيزيائية كطبيعة الجسيمة، الطاقة، زاوية الورود، إلخ. [٦]

المقطع العرضي: توزيع عدد الجسيمات بدلالة المسافة عن محور الشلال. يتعلق بطبيعة الجسيمة الابتدائية، الطاقة و زاوية الرأس. الانتشار العرضي للشلال أساسي في الانتشار المضاعف حيث تخضع الجسيمات المشحونة إلى حقل كولومب لنواة الغلاف الجوي. تمثل الإلكترونات المركبة الأكبر عددا وأكثر انحرافا من الميونات؛ إذن المقطع العرضي هو الذي يتحكم في المركبة الكهرومغناطيسية (الإلكترون، البوزترون، الفوتون)، يقل عدد الجسيمات بزيادة المسافة على المحور. التوزيع الجانبي (العرضي) مهم لمعرفة الطاقة الابتدائية للجسيمات الكونية. [٦] [١][٢][٥]

من أجل دالة التوزيعات الجانبية للجسيمات المشحونة في الشلالات الهوائية نجد دالة NKG (Nishimura-Kamata-Greisen) المعرفة كالتالي:

$$\rho_{ch}(r) = \frac{N_{ch}}{\pi 2r_0^2} C \left(\frac{r}{r_0} \right)^{s-2} \cdot \left(1 + \frac{r}{r_0} \right)^{s-4.5} \quad (٣)$$

حيث:

N_{ch} : العدد الكلي للجسيمات المشحونة

s : يسمى وسيط العمر الذي يصف شكل توزيع الجسيمة و نظريا يتعلق بمنزلة التطوير الطولي

r_0 : نصف قطر Moliere وهو المسافة التي تضم ٩٠% من الطاقة الكلية للشلال ويقدر حوالي ٧٩ m على سطح البحر. [٥]

$$C = \Gamma(٤.٥ - s) / \Gamma(s) \Gamma(٤.٥ - ٢s) ؛ \text{ ثابت يعطى بدلالة دالة غاما}$$

لكن هذه الدالة تصف الشلالات الهوائية الكهرومغناطيسية والهادر ونية ، لذلك عدل Greisen هذه الدالة إلى صيغة أخرى لتشمل الميونات وهي كالتالي :

$$(\varepsilon) \dots \rho_{ch}(r) = 1.03 \frac{N_{ch}}{\pi 2r_0^2} C_1 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{s-2} \cdot \left(1 + \frac{r}{r_0}\right)^{s-4.5} \cdot \left(1 + C_2 \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right) \left(1 - 0.2 \exp \frac{-(\ln(r/r_0) + 0.3)^2}{.٥}\right)$$

اختلفت الدوال حسب التجارب مثلا حسب تجربة AGASA تعرف دالة التوزيع الجانبي كالتالي :

$$\dots \rho_{ch}(r) = C \left(\frac{r}{R_M}\right)^{-1.2} \cdot \left(1 + \frac{r}{R_M}\right)^{-\eta+1.2} \left(1 + \left(\frac{r}{1000}\right)^2\right)^{-0.6} \quad (٥)$$

$$(\varepsilon) \dots \rho(r) = kr^{-(\eta+r(m)/400)} \quad \text{وعرفها Haverah Park كالتالي} :$$

حيث : η يمثل الميل. [٥]

المقطع الطولي:

عدد الجسيمات في شلال هوائي تتغير بدلالة عمق الغلاف الجوي. وندرس تغير هذا العدد باستعمال المقطع الطولي للشلال ، الذي يبين تطوره في مختلف طبقات الغلاف الجوي . يقاس هذا المقطع بدلالة اشعاع الفلورة الذي يبعث على مدى طويل في الغلاف الجوي . حيث أنه عبارة عن جسيمات مؤينة أو مثارة لذرات الآزوت التي تبعث فوتون الفلورة بالقرب من الطيف فوق البنفسجية. [٢][١][٥][٦]

تغير عدد الجسيمات بدلالة العمق العمودي للغلاف الجوي يمثل تطور الشلال طويلا ، حيث يكون الارتفاع أعظمي عندما يكون عدد الجسيمات أعظمي . أحسن دالة تمثل التوزيع الطولي هي دالة (Gaisser -Hillas) حيث تسمح باستخراج المميزات الرئيسية للشلال وفق العلاقة التالية:

$$(\varepsilon) \dots N(X) = N_{max} \left(\frac{X-X_0}{X_{max}-X_0}\right)^{\frac{X_{max}-X_0}{\lambda}} e^{-\frac{X_{max}-X_0}{\lambda}}$$

حيث أن :

N_{\max} : العدد الأعظمي للجزيئات الناتجة عن تطور الشلال.

Λ : 70 g/cm^2

x_{\max} : عمق الغلاف الجوي عند N_{\max} .

X_0 : العمق عند بداية التفاعل. [٥].

الفصل الثاني

تقنية المحاكاة

مقدمة

ترد الاشعة الكونية إلى الكرة الارضية بطاقات عالية تصل 10^{20} ev ولدراسة خصائص هذه الجسيمات عالية الطاقة يجب استعمال كواشف على سطح الارض أو في عمق البحر أو تحت

الجليد ، وهذا يخص نوع معين من الاشعة الكونية . بينما هناك نوع آخر لا يمكن التعامل معه مباشرة .

نظرا لوجود جسيمات فائقة الطاقة والتي من غير الممكن رصدها مباشرة نلجأ لطريقة المحاكاة والتي تهدف إلى دراسة و بناء نماذج لتقليد نظام حقيقي يصعب دراستها تجريبيا ،محاكاة الاشعة الكونية عالية الطاقة تعتمد على البيانات التي ترصدها المراصد مثل Auger ،Hiers .

من بين البرامج التي درست خواص الشلالات الهوائية نجد: AIRES , MOCCA , CORSIKA , نستعمل في دراستنا برنامج Aires .

Aires هو مجموعة من البرامج أو الخوارزميات تختص بمحاكاة الشلالات الهوائية (Aire shower Extended Simulation) أي محاكاة امتداد الشلال الهوائي، جاء هذا البرنامج تحسينا للبرنامج الذي سبقه Mocca . كل تعديل في البرنامج يتم اصداره في شكل نسخة و أول نسخة ل Aires ١.٢.٠ كانت في ماي ١٩٩٧ .

Aires برنامج يكتب بلغة الفورتران و يتضمن عدة برامج خاصة بفيزياء الجسيمات منها QGSJET و SIBYLL تخص التصادم الهادروني . [١٠]

يضم هذا البرنامج برنامجين أساسيين هما :

- AiresQ , Aires وهذا الاخير يحتوي على برنامج مصادمات الهادر و نات الذكورة أعلاه .

- و يحتوي أيضا على ملف AiresSry وهو خلاصة البرنامج يشير إلى البيانات المعالجة والنتائج المحصل عليها عن طريق المحاكاة .

من المفاهيم التي يعتمد عليها هذا البرنامج نجد :

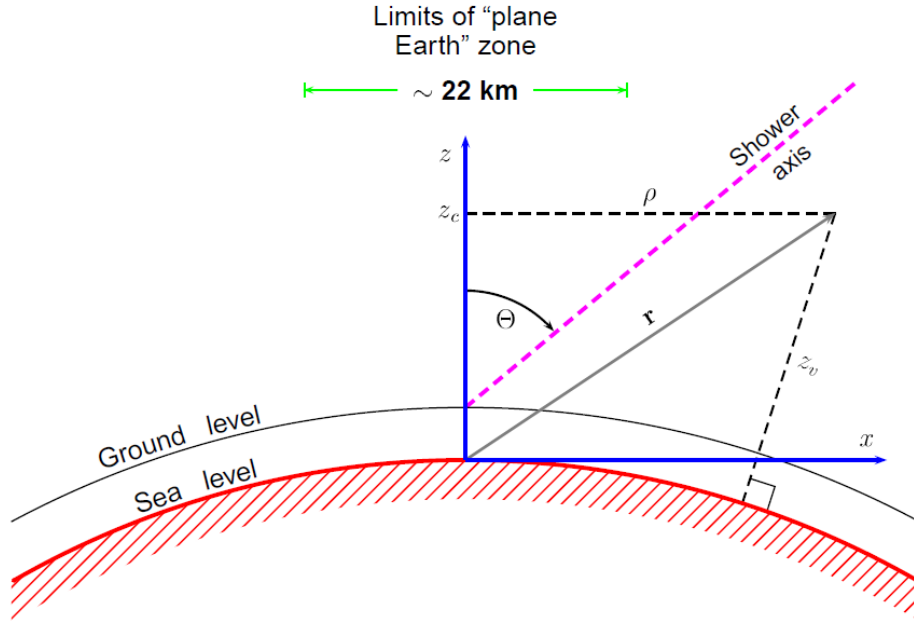
***- نظام الاحداثيات :**

يستخدم برنامج Aires نظام الاحداثيات الكارتيزية ، نأخذ بعين الاعتبار الارتفاع عن مستوى سطح البحر والذي يعتبر مبدأ الاحداثيات وأيضا الموقع الجغرافي ، حيث أن المستوي "xy" يكون أفقي على مستوى السطح والمحور "z" يشير (يتجه) إلى الاعلى ، و المحور 'x' يتجه حسب الاتجاه المغناطيسي الشمالي كما في الشكل (١٨)

نعرف الزاوية الرأسية θ بالتقاطع الموجود بين محور الشلال والمحور z

اما زاوية السم Φ هي الزاوية بين المسقط الافقي لمحور الشلال والمحور x ($0 \leq \Phi < 360^\circ$).

الشكل التالي يشرح نظام الاحداثيات المتبع في برنامج Aires. [١٠]



الشكل-١٨- نظام الاحداثيات

نعرف الاحداثيات بشعاع الموضع r عند كل نقطة المعرفة بالاحداثيات (x, y, z) والارتفاع العمودي z_v الموافق للمسافة الدنيا بين النقطة والارتفاع على سطح البحر ونحدد الاحداثيات كالتالي :

$$x^2 + y^2 = \rho^2$$

$$(R_e + z_v)^2 = (R_e + Z_c)^2 + \rho^2$$

حيث : R_e : نصف قطر الارض

Z_c : الارتفاع المركزي عن سطح الارض

Z_v : الارتفاع العمودي

*- نموذج الغلاف الجوي :

تخترق الجسيمات الابتدائية الغلاف الجوي أين تتفاعل وتتفكك لتشكل شلالات هوائية ، لذلك من الضروري معرفة خواص الغلاف الجوي لأخذها بعين الاعتبار في المحاكاة.

من بين هذه الخواص الطبيعية الكيميائية للغلاف الجوي بالإضافة لكثافة الوسط . يتكون الغلاف الجوي من ٧٨.٤٧% أزوت (N) ، ٢١.٠٥% من الاوكسجين (O)، ٠.٤٧% من Ar و ٠.٠٣% باقي العناصر ، أما كثافة الغلاف الجوي فتتغير بدلالة الارتفاع العمودي على سطح البحر حيث تكون ثابتة في المنطقة ما بين $\{ 0 \leq h \leq 90 \text{ km} \}$ ثم تقل تدريجيا مع زيادة الارتفاع. [١٠,٥] تعطى عبارة الكثافة بالشكل التالي :

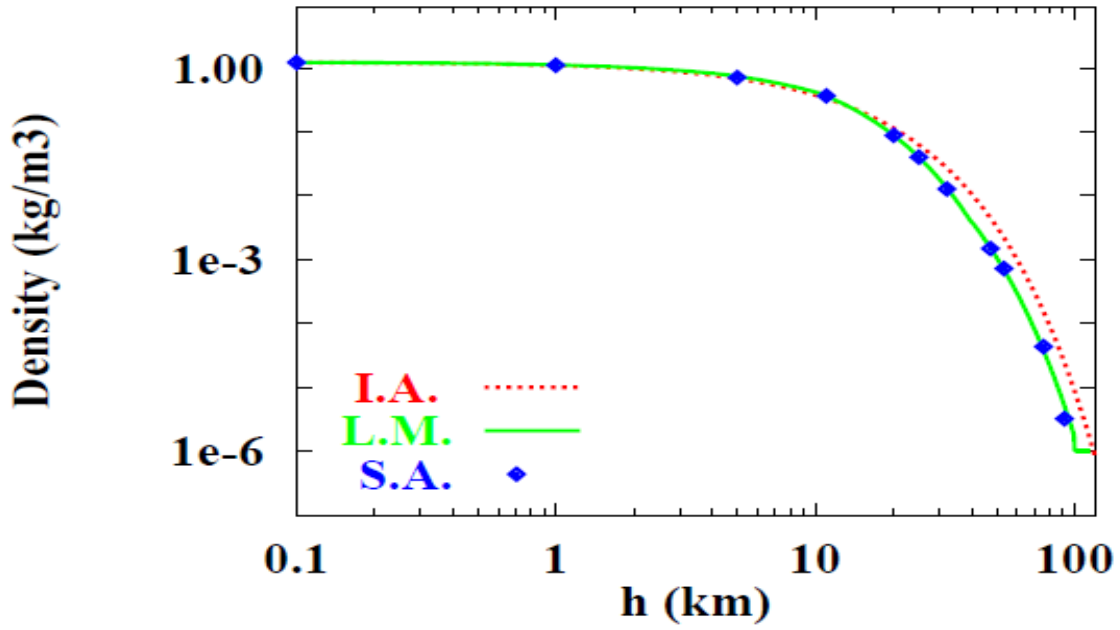
$$\rho(h) = \rho_0 e^{-gMh/RT}$$

حيث :

$$\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3, \quad M = 28.966$$

$$T = 288 \text{ K.}$$

الشكل التالي يبين تغير الكثافة بدلالة الارتفاع العمودي .



الشكل-١٩- الكثافة بدلالة الارتفاع [١٠]

الارتفاع الاعظمي حدد من طرف نموذج Linesley المعمول به في نظام Aires حيث

$$0 \leq H \leq h_{\max} = 112.8 \text{ km}$$

هذا بالنسبة للارتفاع الاعظمي ، أما الكثافة حسب هذا النموذج فتكون معدومة عندما يكون الارتفاع

$$\text{أكبر من الارتفاع الاعظمي } h > h_{\max}$$

هذه التقريبات من شأنها تبسيط مختلف الخوارزميات المستعملة في محاكاة الشلالات الهوائية .

كثافة الغلاف الجوي لا تستعمل مباشرة في الخوارزميات وإنما هي عبارة عن كمية طبيعية تصف

تغير الكثافة للغلاف الجوي وتدعى هذه القيمة العمق العمودي للغلاف الجوي ووحدته g/cm^3

يعطى بالعلاقة التالية :

$$X = \int_h^{\infty} \rho(h') dh'$$

هذا بالنسبة للشلال العمودي أين تكون الزاوية الرأسية معدومة أما بالنسبة للشلال الافقي فإن

الزاوية لا تساوي الصفر فنحصل على عبارة العمق المائل :

$$X_s = \frac{X}{\cos \Theta}$$

مع الأخذ بعين الاعتبار تقوس الأرض .

*- خوارزمية التخفيف:

نظرا للعدد الهائل للجسيمات وخاصة في الشلالات الهوائية الناتجة عن الأشعة الكونية ذات طاقات عالية 10^{20} ev فمن غير الممكن أن نتتبع كل هذه الجسيمات لذلك اعتمد Aires على خاصية التخفيف من عدد الجسيمات أي نتتبع عدد من الجسيمات ونعمم الخاصية على باقي الجسيمات المشابهة. [١٠]

الجسيمات الخاصة بالمحاكاة:

معظم الجسيمات المعروفة تدخل في المحاكاة مثل : الكاونات ، الالكترونات ، البوزيترونات ، الميونات ، البيونات ، الفوتونات ، البروتونات ، النيكليونات و الانوية ذات العدد الشحني الاقل من ٣٦ و النوترينو أيضا . الجسيمة الابتدائية يمكن أن تكون واحدة من الجسيمات المذكورة سابقا بطاقات من رتبة GeV إلى ١٠٠ Pev أو أكثر. [١٠]

التفاعلات المستعملة في المحاكاة:

العمليات التي يأخذها Aires بعين الاعتبار انطلاقا من جسيمة ابتدائية تخترق الغلاف الجوي نجد :

*- التفاعلات الالكتروديناميك : تضم التفاعلات الآتية

- خلق الزوج (e-e+) وإلغائه

- إشعاع البعث إلكترون – بوزترون (bremsstrahlung e-e+, muons)

- مفعول كومبتون و المفعول الكهروضوئي

*- التفاعلات الهادر ونية : تشمل

- التصادم غير المرن هادرون – نواة

- التصادم غير المرن نواة – فوتون

*- اختفاء الجسيمات غير المستقرة

*- انتشار الجسيمات : الجسيمات ذات الطاقات المنخفضة تتأين.[٨,٥,١٠]

ملف المعطيات : IDL (input directive language)

يحتوي ملف المعطيات على العديد من التعليمات والضوابط الفيزيائية التي تسيطر على المحاكاة مثل : الجسيمة الابتدائية ، الطاقة الابتدائية ، محطة الرصد ، اسم المحطة ، هذه معلومات تعرف بالشلال المدروس من جهة و تخص بالبرنامج عن غيره من جهة أخرى أيضا يضم كل المقادير الفيزيائية و الهندسية التي يعتمد عليها البرنامج التي ذكرت سابقا مثل الزاوية الرأسية ، التخفيف النسبي ، عدد الشلالات ، الارتفاع عن سطح الارض،

أما فيما يخص المعلومات المتعلقة بالشلال والتي تبنى عليها الدراسة فتدرج من خلال جداول، للحصول على هذه الجداول نستعمل التعليمة Export Tables . يبدأ برنامج المعطيات كغيره من البرامج باسم البرنامج وينتهي ب end . [١٠]

والوثيقة التالية تبين نموذج عن ملف المعطيات :

```
Task proton ٠٦
Primary proton
PrimaryEnergy ١٠٠ PeV
TotalShowers ١٠
PrimaryZenAngle ٠ deg
GroundAltitude ٤٥ m
ObservingLevels ٤٠٠
Thinning ١.e-٤ Relative
GammaCutEnergy ٣.٠ MeV
ElectronCutEnergy ٣.٠ MeV
MuonCutEnergy ١.٠ GeV
NuclCutEnergy ٣٠٠.٠ MeV
#AddSite Nijmegen ٥١.٨٣٣٣ deg ٥.٨٦٦٧ deg ٤٥ m
```

Site ElNihuil

Date ٢٠١٣ ٠٤ ٢٣

ADF On

ExportTables ١٢٠٥

ExportTables ١٢٠٧

ExportTables ١٠٢٢

ExportTables ١٠٠١

ExportTables ١٢١١

ExportTables ١٥٢٢

ExportTables ٢٠٠٧

ExportTables ٢٠٠٨

ExportTables ٥٥٠١

ExportTables ٥٥١١

ExportTables ٢٥٠١

ExportTables ٥٠٠٥

ExportTables ٥٥٠١

ExportTables ٢٠٠١

ExportTables ٢٠٢٢

ExportTables ١٥٠١

ExportTables ٢٥٢٢

ExportTables ٢٥٠١

#ExportTables ٢٢٠٧ option L

#ExportTables ٢٢٩١ option L

#ExportTables ٢٧٠٥ option L

End

الشكل - ٢٠ - ملف المعطيات

ملف النتائج : data output

يحتوي هذا الملف على خواص الشلال و مميزات الجسيمات المكونة له ، وأيضا يحتوي على مختلف الوحدات المستعملة في المحاكاة مثل ما هو موضح في المثال التالي:

Units used:

```
#
#          Depth    --- g/cm2
#          Length   --- m
#          Time      --- ns
#          Angle     --- deg
#          Energy    --- GeV
```

كل التعليمات التي أدرجت في ملف المعطيات نجدها بيانات في هذا الملف ،من المعلومات التي تظهر في ملف النتائج نجد : التوزيع الطولي ، التوزيع العرضي ، توزيع الطاقة ، عدد الجسيمات ، الارتفاع الاعظمي وما يوافقه من عدد الجسيمات ، المسافة أو البعد عن قلب الشلال ، الخ من الخصائص الذاتية والمميزة للشلال الهوائي .

في حالة وجود خطأ تظهر في ملف النتائج رسائل تحدد نوع الخطأ ومكانه مثل:

```
EEEE
EEEE Error message from commandparse
EEEE Numeric parameter(s) invalid or out of range.
EEEE >PrimaryEnergy 100 MeV<
EEEE
```

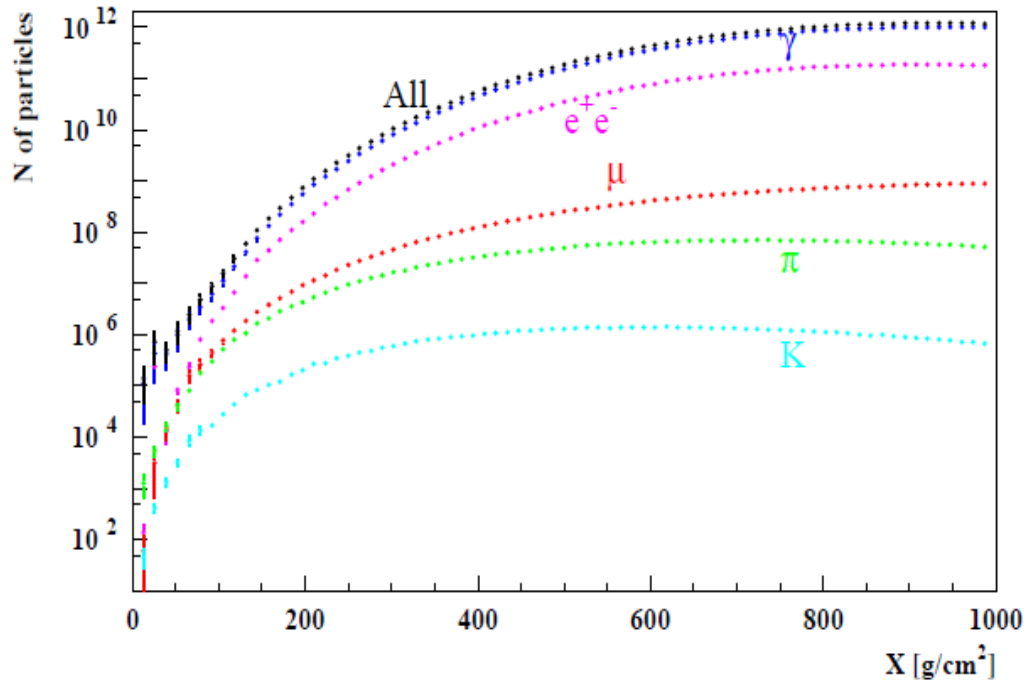
والوثيقة التالية تبين نموذج عن ملف النتائج:

```

#
# AIRES Export file
#
# DATE: 24/Apr/2012 10:04:37; AIRES version 2.8.0
# USER: basma; HOST: basma-laptop
#
# Task name           : proton.1
#
# Task starting date: 24/Apr/2012 10:03:01
# Number of showers  :          10
#
#
# TABLE 1.22: Longitudinal development: Protons.
#
# Units used:
#
#           Depth   --- g/cm2
#           Length  --- m
#           Time    --- ns
#           Angle   --- deg
#           Energy  --- GeV
#
# Columns:
#
#           1 Bin #, 2 Depth of obs. level, 3 Mean, 4 RMS Error,
#           5 Std. Dev., 6 Minimum, 7 Maximum.
#
# >>>>>>>>
#
# GRD   1.30.08           16430.7           0.741E+03   1.810E+04   179.
# 0.011E+04
#
#           1   2.07130           1.00000           0.000           0.000           1.000
# 1.000
#           2   0.14132           1.00000           0.000           0.000           1.000
# 1.000
#           3   7.71134           0.90000           0.100           0.316           0.000
# 1.000
#           4   10.2814           1.10000           0.100           0.316           1.000
# 2.000
#           5   12.8014           1.20000           0.133           0.422           1.000
# 2.000
#           6   10.4214           1.20000           0.133           0.422           1.000
# 2.000
#           7   17.9914           48.0787           47.0           149.           1.000
# 471.
#           8   20.0714           48.3928           47.2           149.           1.000
# 473.
#           9   23.1314           48.0928           47.1           149.           1.000
# 473.
#          10   20.7010           48.0928           47.1           149.           1.000
# 473.
#          11   28.2710           03.7380           47.0           149.           1.000

```

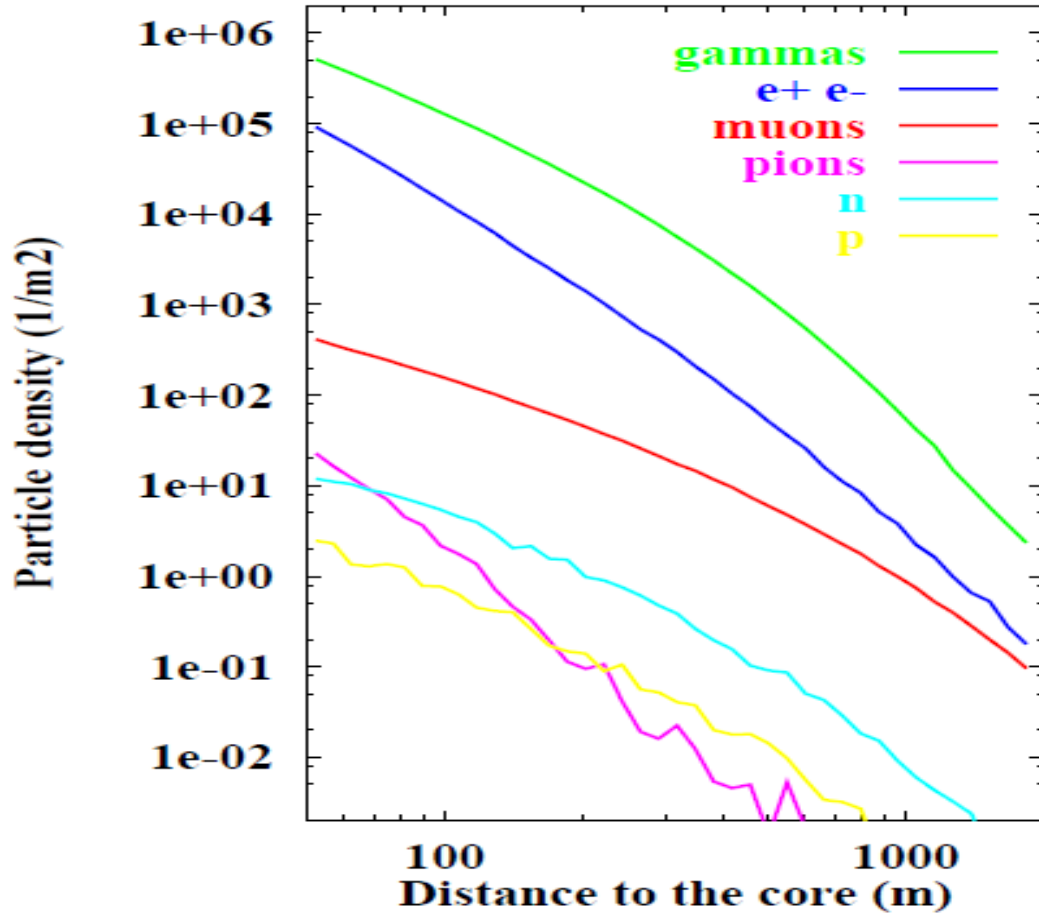
كما قلنا سابقا نستعمل برنامج المحاكاة Aires من أجل دراسة الشلالات الهوائية وخواصها كالتوزيعات العرضية والطولية وتوزيع الطاقات ، الأشكال التالية تمثل مختلف النتائج المحصل عليها .



الشكل - ٢١ - التوزيع الطولي ذو طاقة ٣×10^{20} ev انطلاقا من الجسيمة الابتدائية البروتون.

يبين الشكل أعلاه تغير عدد مختلف الجسيمات بدلالة العمق العمودي حيث تمثل المركبة الكهرومغناطيسية العدد الأكبر عكس المركبة الهادرونية .

- يمثل الشكل التالي توزيع عدد الجسيمات أو كثافة الجسيمات بدلالة البعد عن قلب الشلال ، تزيد كثافة الجسيمات بالقرب من قلب الشلال وتقل بالبعد عنه ، أعلى كثافة للجسيمات الكهرومغناطيسية ثم تليها الميونية تقل هتان المركبتين بالبعد عن القلب ، أما المركبة الهادرونية تمثل أقل كثافة وتقل إلى أن تنعدم بزيادة المسافة على محور الشلال .



الشكل - ٢٢ - التوزيع العرضي للشلال انطلاقا من جسيمة البروتون ذات طاقة 10^{19} eV.

دراسة خواص الشلالات الهوائية

مقدمة :

نقوم بمحاكاة الشلالات الهوائية عن طريق برنامج Aires. يحتوي هذا الاخير على المقادير الاولية لدراسة الشلال الهوائي ، والتي نقوم بإدراجها في ملف المعطيات مثل الجسيمة الابتدائية التي يتولد عنها الشلال ، الطاقة الابتدائية التي ترد بها الجسيمة ، زاوية الرأس ،..... إلخ .

نتحصل على المعلومات التي ندرس من خلالها الشلالات الهوائية مثل عدد الجسيمات ، العمق العمودي ، البعد عن قلب الشلال ، العدد الكلي للجسيمات ، والعديد من المقادير الفيزيائية المميزة التي نحصل عليها بإدراج جداول خاصة بكل مقادير .

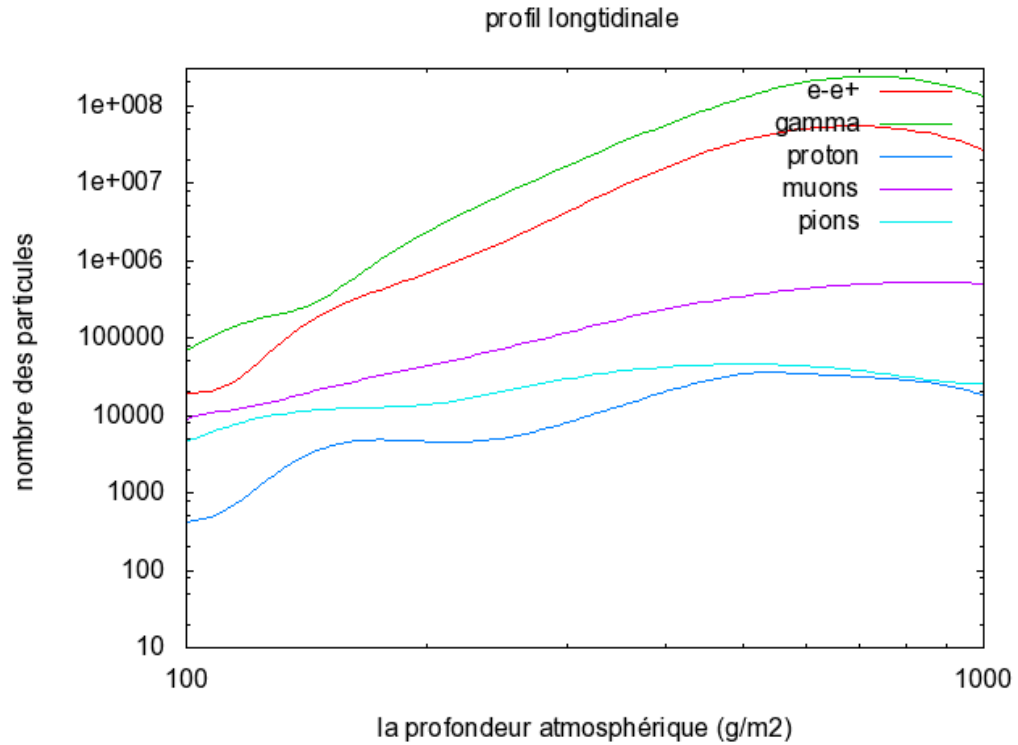
يمكننا تغيير المعطيات الخاصة بكل شلال في البرنامج كالطاقة ، الجسيمة الابتدائية ، زاوية الرأس ، عدد السلاسل . في دراستنا ركزنا على الشلالات الناتجة عن البروتون والطاقة الابتدائية نغيرها ما بين رتبة Pev Tev .

دراسة الخواص الطولية للشلالات

سندرس شلال ناتج عن بروتون ذو طاقة ابتدائية $100 Pev$.

من أجل معرفة عدد الجسيمات في الشلال الهوائي عند كل مستوى من الغلاف الجوي ، نقوم باختيار الجداول الخاصة بالتطور الطولي لمختلف الجسيمات ، الكترونات ، بوزترونات ، فوتونات ، ميونات ، بيونات و بروتونات .

مختلف النتائج المحصل عليها ممثلة في المنحنيات التالية :



الشكل - ٢٤ - التوزيع الطولي

التوزيع الطولي: (Distribution longitudinale)

يمثل الشكل أعلاه التوزيع الطولي لجسيمات شلال ناتج عن بروتون ذو طاقة ابتدائية 100 Pev ، بحيث يتغير عدد الجسيمات بدلالة عمق الغلاف الجوي .

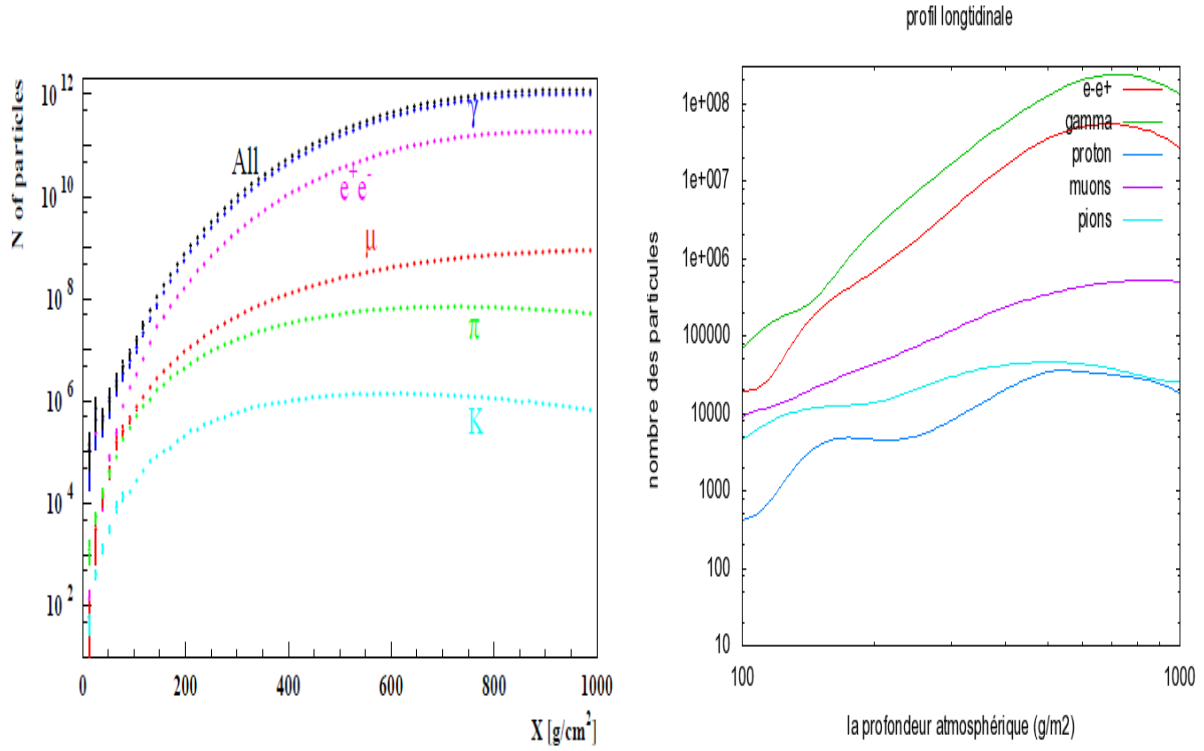
يظهر في المنحنى أن عدد الجسيمات يزيد مع تطور الشلال لأن الجسيمات تتفكك و تتفاعل وبهذا تنتج جسيمات أخرى . يزيد العدد الكلي للجسيمات حتى يصل إلى العدد الأعظمي عند مستوى من الغلاف الجوي يسمى العمق الاعظمي X_{max} . هذا الاخير يتغير حسب نوع الجسيمة الابتدائية وطاقتها

بعد ذلك ينخفض عدد الجسيمات لأن طاقة الجسيمات تقل وهذا يحد من عدد التفاعلات الممكنة ، مثلا الفوتون يتفكك إلى إلكترون و بوزترون إذا كانت طاقته أكبر من 1.022 Mev والبوزترون الناتج يتفاعل مع الكترون فينتج فوتونين طاقة كل واحد منهما 0.511 Mev .

تتوقف جسيمات π عن إنتاج جسيمات أخرى عندما تصل طاقتها إلى 10 Gev ، أما الطاقة الحرجة للنيوكليونات تقدر ب 200 Mev .

أكبر عدد من الجسيمات تشغله المركبة الكهرومغناطيسية (إلكترونات ، بوزيترونات، فوتونات) لأنه ينتج عن تفاعل الجسيمة الابتدائية مع جزيئات الغلاف الجوي شلالات هوائية . فمثلا تنشطر البيونات متعادلة كهربائيا إلى فوتونين ؛ينتج عن كل فوتون الزوج $e-e+$ ويستمر الشلال في الامتداد مع زيادة عدد الجسيمات الكهرومغناطيسية ،حيث ينتج عن الالكترونات أو البوزيترونات إصدار فوتون(إشعاع الكبح) ؛وينتج عن تفاعل الالكترتون مع الازوت الموجود في الغلاف الجوي إشعاع الفلورة ، هذا الاخير الذي نحدد به طول الشلال .وهكذا يستمر زيادة عدد الجسيمات إلى أن تصبح للجسيمة طاقة أقل من طاقة العتبة فلا يمكن إنتاج جسيمات أخرى وهذا ما يفسر انخفاض عدد الجسيمات .بالإضافة لتفاعل كومبتون الذي يساهم في زيادة جسيمات هذه المركبة ،هذا ما تطرقنا له في الجزء النظري (أنظر فقرة ٨ من الفصل الاول) .

أما البروتونات والبيونات فتمثل الاقلية لأن البيونات المشحونة تتفكك إلى ميونات و نيترينو والبيونات المعتدلة تنشطر إلى فوتونات ، وكما أن الهادر ونات تتوقف عن إنتاج جسيمات لما تكون طاقتها أقل من ٨٠ Gev .



التوزيع الطولي الشكل - ٢٥ - الذي على اليمين نتائج دراستنا و الشكل الذي على اليسار من Aires.

تحصلنا على نتائج مماثلة للدراسات النظرية .

التوزيع العرضي: (Distribution latérale)

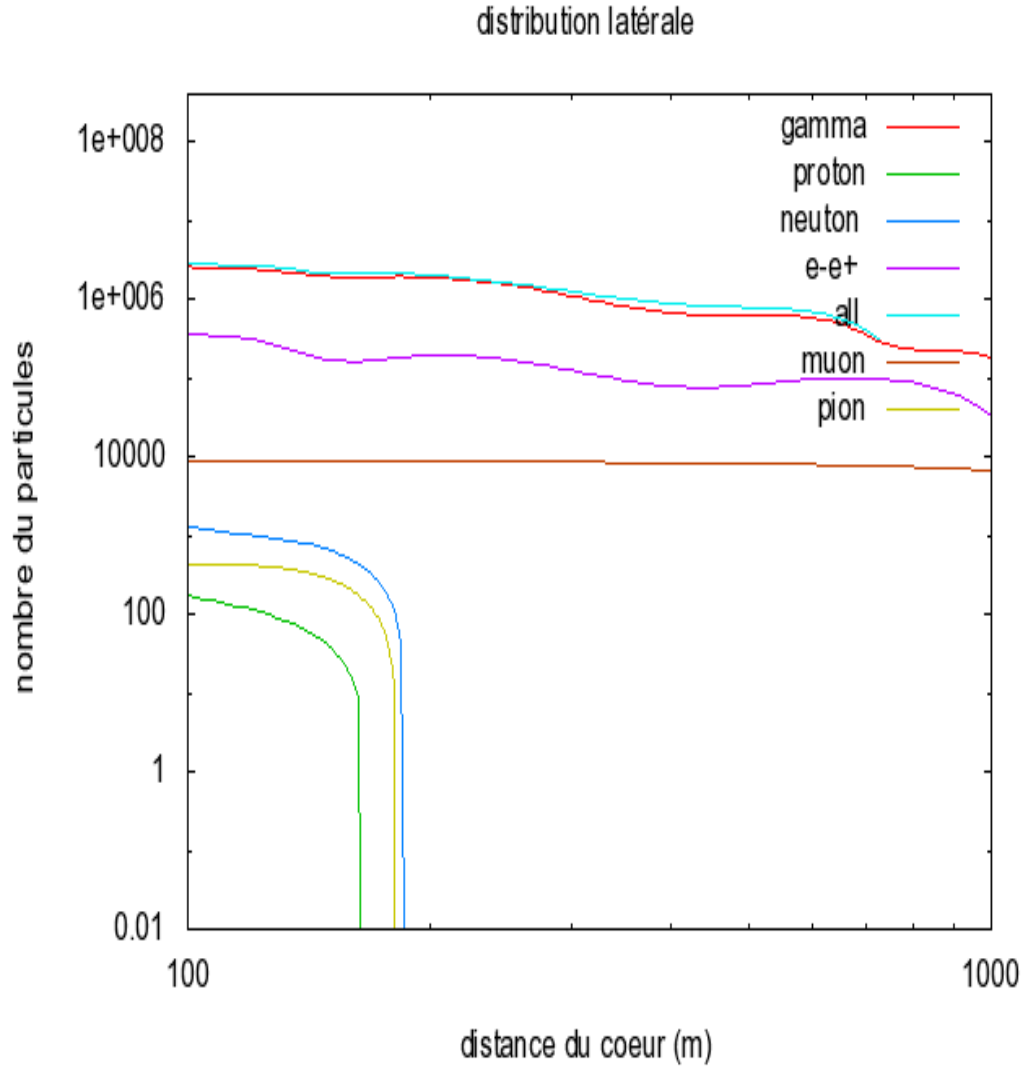
يمثل المنحنى (في الشكل) التوزيع العرضي لشلال ناتج عن بروتون ذو طاقة ١٠٠ Pev ، يبين تغير عدد الجسيمات بدلالة البعد عن قلب الشلال في مستوى معين من الغلاف الجوي . تتواجد معظم الجسيمات في قلب الشلال بنسب مختلفة ، يزيد عدد الجسيمات بالقرب من قلب الشلال ويقل كلما ابتعدنا عنه .

المركبة الكهرومغناطيسية و الميونية تتركز بالقرب من قلب الشلال . تتناقص الميونات أسياً بزيادة البعد عن قلب الشلال ، أين تنتشر الميونات على مسارات مستقيمة عكس المركبة الكهرومغناطيسية التي تخضع مساراتها إلى العديد من التفرعات في الغلاف الجوي بسبب تفاعلات الانتشار ، لذلك نلاحظ تواجدها على مسافات بعيدة من قلب الشلال تصل إلى أكثر من ١٠٠٠ m .

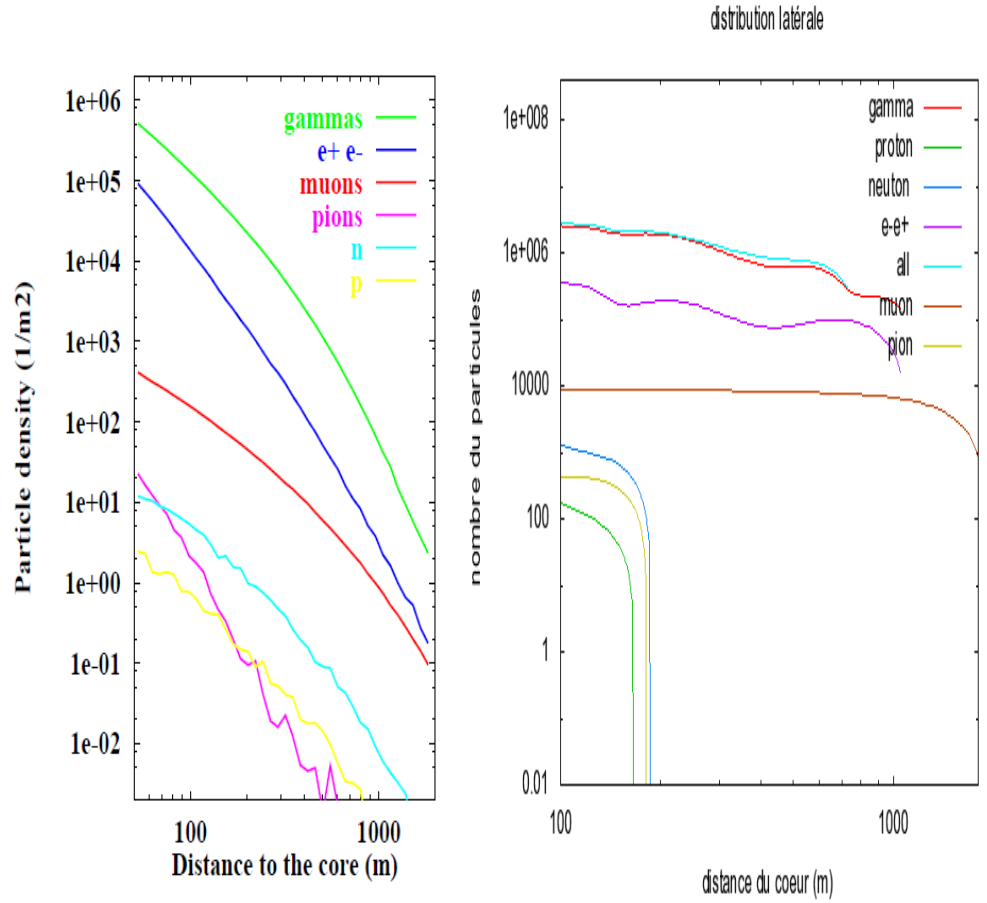
إذا في أطراف الشلال يكون العدد الأكبر للإلكترونات، البوزيترونات والفوتونات . أغلب الجسيمات تتفكك فتساهم في تغذية المركبة الكهرومغناطيسية فيزيد عددها مع تطور الشلال فالميونات تفكك إلى $e-e+$ لذلك عددها أقل من عدد الجسيمات الكهرومغناطيسية .

المركبة الهادر ونية هي المركبة الأساسية، تتواجد في قلب الشلال لكونها تغذي المركبتين السابقتين لذلك عددها أقل و ينخفض أكثر بالبعد عن قلب الشلال . فمثلا الكاونات تتفكك إلى بيونات أو ميونات وهذه بدورها تنتشر إلى الكترونات أو بوزيترونات بالإضافة إلى جسيمات النترينو .

توزع الجسيمات وامتدادها يكون حسب طبيعة الجسيمة الأولية الواردة وطاقتها الابتدائية .



الشكل - ٢٦ - التوزيع العرضي



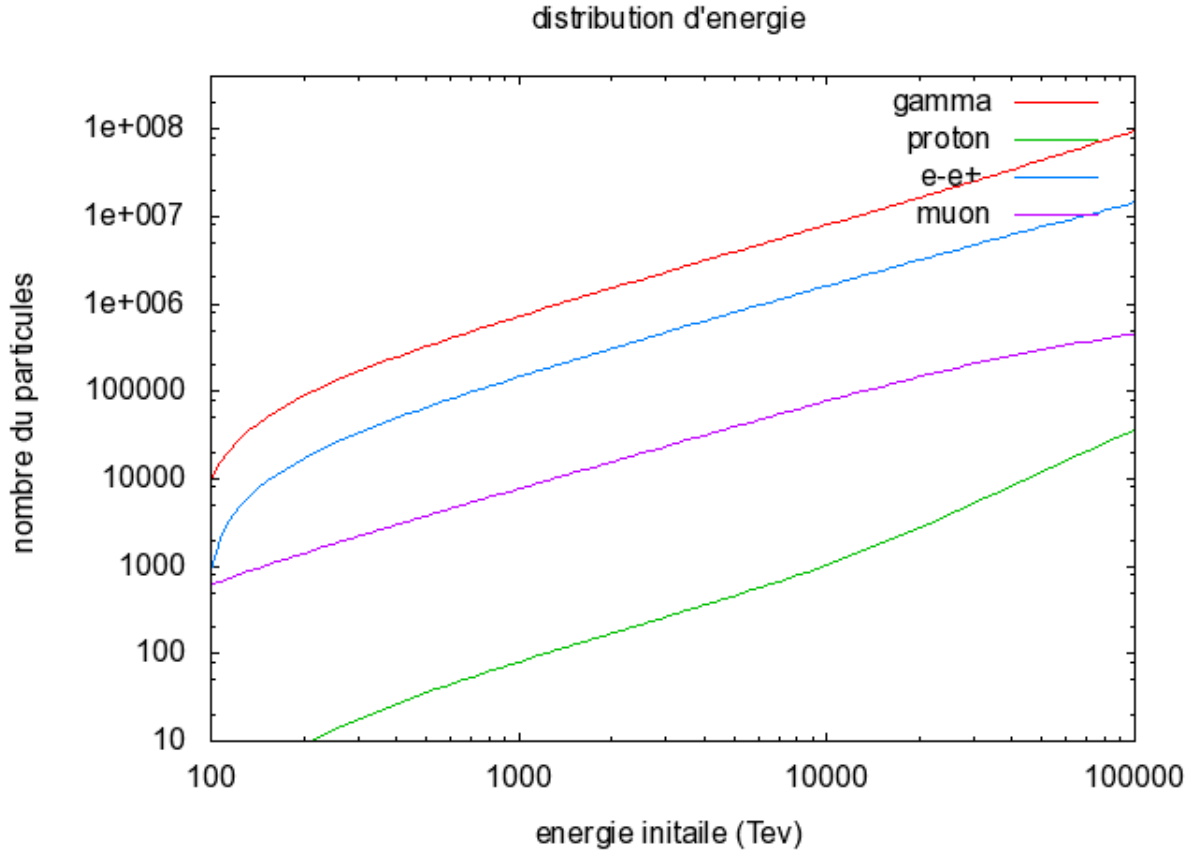
الشكل - ٢٧ - على اليمين نتائج دراستنا و على اليسار النتائج النظرية .

النتائج المحصل عليها مماثلة للنتائج النظرية .

توزيع الطاقة:

يمثل المنحنى في الشكل (٢٨) تغير عدد الجسيمات في شلال هوائي بدلالة الطاقات الابتدائية للجسيمة الاولى . حيث يظهر أن عدد الجسيمات يرتفع مع زيادة الطاقة لأنه كلما كانت الطاقة الابتدائية أكبر، يزيد عدد التفاعلات الممكنة قبل الوصول إلى عتبة الطاقة لمختلف التفاعلات .

فمثلا عندما تكون الطاقة الابتدائية ١٠٠ Tev فهي أكبر بكثير من طاقة عتبة الفوتون لإنتاج زوج e-e+ (١ Mev)، لذلك ينتج عدد هائل من الالكترونات والبوزترونات انطلاقا من هذه الطاقة. لهذا نجد عدد الجسيمات الكهرومغناطيسية كبير جدا مقارنة بالمركبات الاخرى، على عكس البيونات التي طاقة تفككها ١٠ Gev فيكون عددها قليل .



الشكل - ٢٨ - تغير عدد الجسيمات بدلالة الطاقة الابتدائية .

دراسة خواص الشلالات الهوائية لمرصد الحضنة :

نعتبر مرصد للأشعة الكونية في منطقة الحضنة ، الواقعة على خط الطول ٤.٥ وخط العرض ٣٥.٧ وارتفاع ٤٧٥ m.

نقوم بدراسة خواص الشلالات الهوائية التي يتم رصدها في هذا المرصد . نضيف أولا اسم وموقع مرصد الحضنة .

```

Task proton
Primary proton
PrimaryEnergy 100000 TeV
TotalShowers 10
PrimaryZenAngle 0 deg
GroundAltitude 40 m
ObservingLevels 400
Thinning 1.e-4 Relative
GammaCutEnergy 3.0 MeV
ElectronCutEnergy 3.0 MeV
MuonCutEnergy 1.0 GeV
NuclCutEnergy 3000.0 MeV

AddSiteHodna 30.7 deg 4.0 deg 0.0 m

Site Hodna

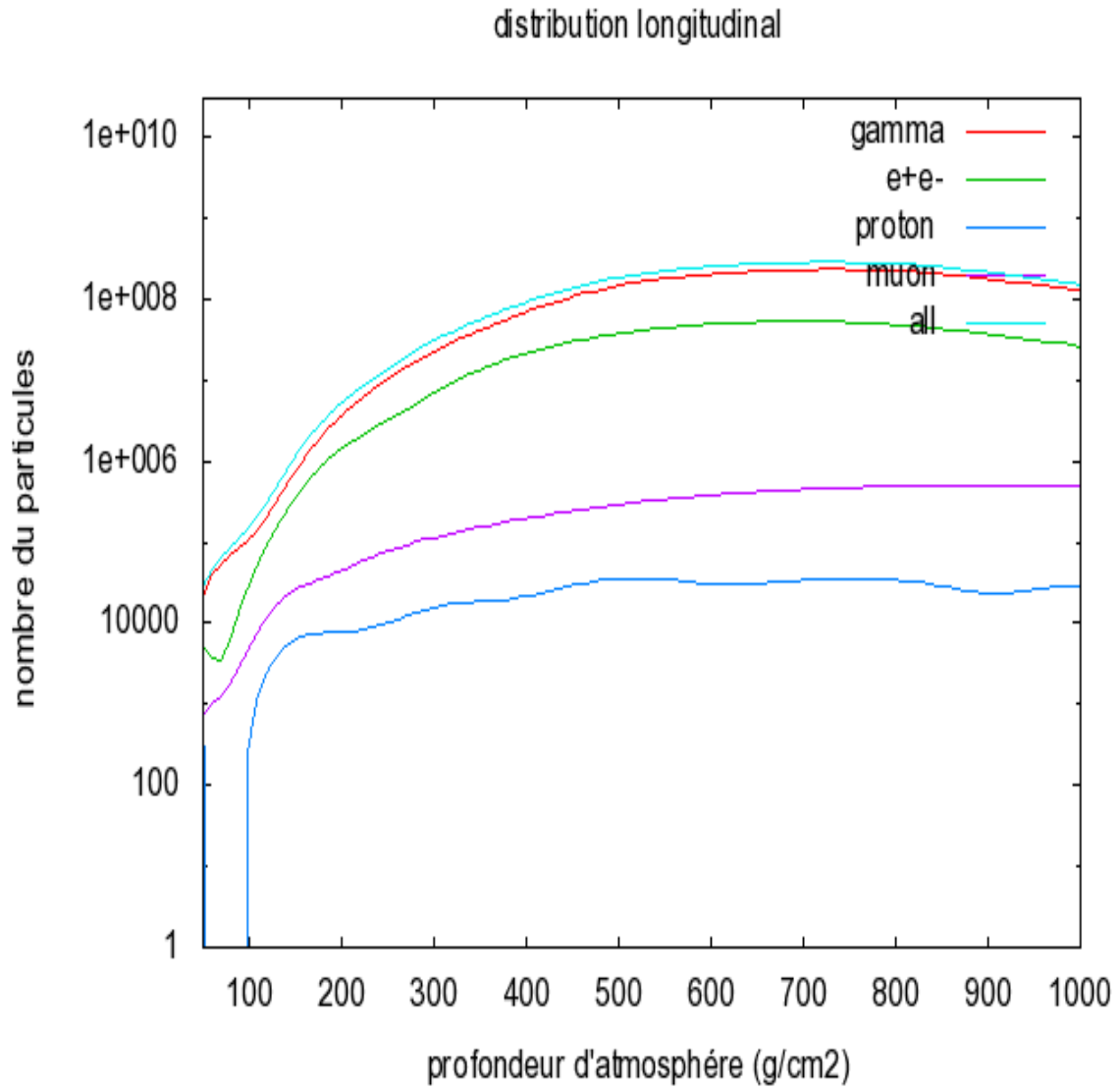
Date 2013 04 24
ADF On
ExportTables 1001
ExportTables 1022
ExportTables 1021
ExportTables 1200
ExportTables 1207
ExportTables 1211
ExportTables 1213
ExportTables 1293
end

```

نهتم بالتوزيع الطولي و العرضي للشلالات الهوائية والتي تطرقنا لدراستهما في الفقرات السابقة، من أجل إجراء مقارنة بين المرصد الياباني AGASA، المرصد الأرجنتيني ELNUIHILE .

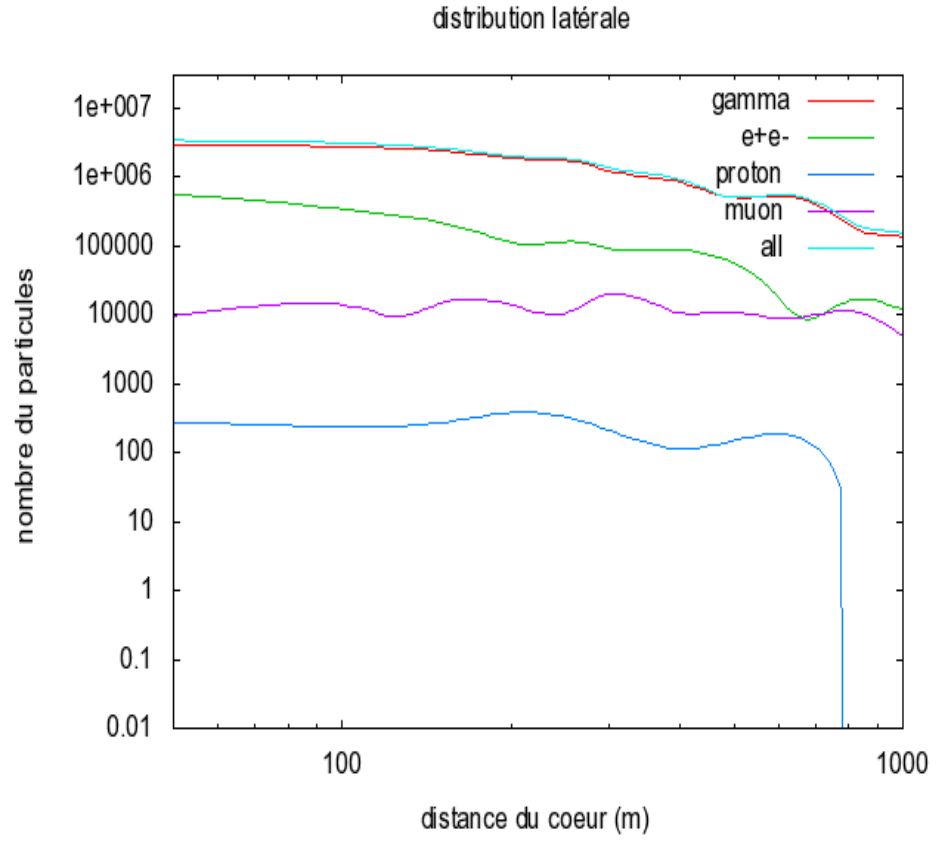
والنتائج المحصلة عليها ممثلة في المنحنيات التالية :

التوزيع الطولي :



الشكل - ٢٩ - يبين التوزيع الطولي

يظهر أن عدد الجسيمات يزيد كلما زادت كمية المادة المخترقة من الغلاف الجوي ، وهذا ما كان متوقعا وحصلنا عليه .



الشكل - ٣٠ - يمثل التوزيع العرضي

من خلال المنحنى يتضح أن أغلب الجسيمات تتواجد في قلب الشلال وتتناقص بالبعد عن قلب الشلال .

نلاحظ أن النتائج المحصل عليها من مرصد الحضنة تماثل النتائج المحصل عليها من المرصد الياباني.

الختاتمة

من خلال دراستنا للشلالات الهوائية الناتجة عن الاشعة الكونية الواردة للأرض بطاقات عالية من مختلف أرجاء الكون ،حيث تسرع جسيمات الاشعة الكونية بطرق مختلفة لتصل إلى طاقات عالية . أين يصعب رصد جسيمات الاشعة الكونية ذات الطاقات الفائقة .

استخدمنا لدراسة خواص الشلالات الهوائية برنامج AIRES، حيث قمنا بتعريفه وهو برنامج محاكاة بلغة مونتي - كارلو خاص بالشلالات الهوائية ، وتعرفنا على مختلف أجزاءه بالإضافة إلى التغييرات التي أجريناها على البرنامج من أجل أن تكون الدراسة دقيقة . تطرقنا أيضا إلى أهم أجزاء البرنامج ومميزات كل جزء . لقراءة النتائج المحصل عليها من المحاكاة قمنا بتمثيلها في شكل منحنيات، عن طريق برنامج لرسم المنحنيات gnuplot .

من خواص الشلالات التي تطرقنا لدراستها ؛ التوزيع الطولي خلصنا إلى أن عدد الجسيمات يتعلق بالارتفاع العمودي ،حيث يرتفع عدد الجسيمات بزيادة العمق العمودي للغلاف الجوي ،حتى يصل إلى حد أعظمي يوافق مستوى من الغلاف الجوي يسمى العمق الاعظمي ،ويقل عدد الجسيمات تدريجيا لأن الطاقة تقل عن طاقة العتبة فلا يمكن أنتاج جسيمات أخرى .

التوزيع العرضي أين تتغير كثافة الجسيمات بدلالة البعد عن قلب الشلال في مستوى معين من الغلاف الجوي ، توصلنا إلى أن عدد الجسيمات يزيد بالقرب من قلب الشلال ويقل بالبعد عنه ، تختلف نسبة تواجد الجسيمات في قلب الشلال وذلك حسب التفاعلات الممكنة للجسيمات وطبيعة انتشارها . أيضا تطرقنا إلى توزيع الطاقات وعلاقة الطاقة بعدد الجسيمات ، أين يزيد بزيادة الطاقات .

في الاخير كانت الدراسة حول الشلالات باعتبار مرصد بالحضنة ، وقمنا بدراسة خواص الشلالات لهذا المرصد ، وتحصلنا على نفس النتائج المحصل عليها في الدراسات التي تمت في مرصد مختلفة من أنحاء العالم كالمرصد الياباني و الارجنطيني .

الملاحق وحدات الطاقة

Mev: Mégaélectronvolt (10^6 ev)

Gev : Giga électronvolt(10^9 ev)

Tev : Tétra électronvolt(10^{12} ev)

Pev : Péta électronvolt (10^{15} ev)

Eev: Exa électronvolt(10^{18} ev)

Zev: Zêta électronvolt(10^{21} ev)

وتقدر Mpc : Mégaparsec وحدة لقياس الاطوال الفلكية، تقدر بالمتر 3.85×10^{16} سنة ضوئية .
3.2616

Erg وحدة لقياس الطاقة وتقدر ب 10^{-7} جول.

ملف من ملف النتائج يلخص كل المعلومات الخاصة بالمحاكاة.

```

>>>>
>>>>
>>>>      AAAAA      IIII      RRRRRR      EEEEEEE      SSSSS      \
>>>>      AAAAAAA     IIII      RRRRRRR     EEEEEEE     SSSSSSS     A
>>>>      AA  AA      II      RR  RR      EE      SS  SS      I
>>>>      AAAAAAA     II      RRRRRR      EEEE      SSS
R-shower
>>>>      AAAAAAA     II      RRRRRR      EEEE      SSS
Extended
>>>>      AA  AA      II      RR  RR      EE      SS  SS
Simulations
>>>>      AA  AA      IIII      RR  RR      EEEEEEE     SSSSSSS     |
>>>>      AA  AA      IIII      RR  RR      EEEEEEE     SSSSS      /
\
>>>>
>>>>
>>>>      Departamento de Fisica, Universidad de La Plata,
ARGENTINA.
>>>>
>>>>
>>>> This is AIRES version 2.8.0 (23/Mar/2005)
>>>> (Compiled by basma@basma-laptop, date: 20/a0i»t/2010) ++
>>>> USER: basma, HOST: basma-laptop, DATE: 24/Jun/2013

```

Task Name: proton◦

Current date and time: ٢٤/Jun/٢٠١٣ ١٨:٤١:٢٧

Processing started at date: ٢٤/Jun/٢٠١٣ ١٨:٤٠:٤١

Processing ended at date: ٢٤/Jun/٢٠١٣ ١٨:٤١:٢٦

Total number of showers: ١٠

Number of processes: ١

Number of runs: ١

Total CPU time: ٤٤.٢٧ sec

Avg. CPU time per shower: ٤.٤٢٦٧ sec

>>>> SUMMARY OF INPUT DATA
>>>> -----

>>>>
>>>> PARAMETERS AND OPTIONS IN EFFECT.
>>>>
>>>> "(D)" indicates that the corresponding default value is
being used.
>>>>

Task Name: proton◦

RUN CONTROL:

Total number of showers: ١٠
(D) Showers per run: Infinite
(D) Runs per process: Infinite
(D) CPU time per run: Infinite

FILE NAMES:

Log file: proton◦.lgf
Binary dump file: proton◦.idf
ASCII dump file: proton◦.adf
Compressed data file: proton◦.grdpcles
Table export file(s): proton◦.tNNNN
Output summary file: proton◦.sry

BASIC PARAMETERS:

Site: AGASA
(Lat: ٣٥.٧٨ deg. Long:
١٣٨.٥٠ deg.)

Export table بعض دلائل التعلیمة

- 1.0.1 : Longitudinal development: Gamma rays.
- 1.0.2 : Longitudinal development: Neutrons.
- 1.0.2 : Longitudinal development: Protons.
- 1.2.0 : Longitudinal development: e and e
- 1.2.7 : Longitudinal development: mu and mu
- 1.2.1 : Longitudinal development: pi and pi
- 1.2.3 : Longitudinal development: K and K
- 2.0.1 : Lateral distribution: Gamma rays.
- 2.0.2 : Lateral distribution: Neutrons .
- 2.2.0 : Lateral distribution: e and e
- 2.2.7 : Lateral distribution: mu and mu
- 2.2.1 : Lateral distribution: pi and pi
- 2.2.3 : Lateral distribution: K and K

bibliographies : المراجع

- [1]- Thèse de magister de l'Université Batna par sabra lamri.
- [2] - Thèse de magister de l'Université Batna par Fisli Mohammed.
- [3]- Jacques Paul, Une brève histoire des rayons cosmique.(2003) E.Parizot et al.
- [4]- Corinne Berat, Energie Extrême et rayons cosmiques.
- [5] – Pierre DA Silva , A recherche des énergies extrêmes :détection des rayons cosmique avec l'observatoire Pierre Auger(2004) .Université de Paris6
- [6]- Olivier Deligny, observatoire Pierre Auger : analyse des gerbes inclinées ,observatoire de neutrino d'ultra haute énergie ,et signature d'une origine locale pour les rayons cosmique chargés.(2003) Université Paris VI Pierre et Marie Curie.
- [7]- Creusot Alexander ,Etude des détection de surface de l'observatoire Pierre Auger ,Tests: simulation et Etalonnage .(2004) Université Paris XI
- [8]-Fabrice Cohen, simulation de gerbes atmosphériques aux énergies de l'observatoire Pierre Auger et fonction de distribution latérale .(2003) Paris XI.
- [9]- Thèse de Master de l'Université de M'sila par zefan khaira
- [10]- S.J.Scuitto, Aires A systeme for aire shower simulation user's guide and reference manual.(2001)LAPLATA ,Argentina.

الملخص

الاشعة الكونية هي جسيمات ترد إلى الارض انطلاقا من مختلف مصادر الكون من داخل المجرة مثل الشمس ، المستعرات العظمية أو من المجرات الاخرى .يختلف مصدر الأشعة الكونية باختلاف طاقة ورودها .

عند دخول الاشعة الكونية الغلاف الجوي وتفاعلها مع جسيماته ،ينتج شلال هوائي من الجسيمات تسمى الاشعة الكونية الثانوية .

دراسة هذه الشلالات تعتمد على المحاكاة الرقمية باستعمال لغة مونتي كارلو مثل برنامج Aires، وهو برنامج محاكاة خاص بالشلالات الهوائية بحيث نقوم بالتغيير في المعطيات لكي تكون الدراسة دقيقة وشاملة ، التغيير يخص الطاقة و الجسيمة الابتدائية .

يسمح برنامج Aires بدراسة خواص الشلالات كالتوزيع الطولي والتوزيع العرضي .من خلال دراسة هذه التوزيعات تحصلنا على نتائج مثلت بمنحنيات ، خلصنا إلى أن عدد الجسيمات يرتفع مع زيادة كمية المادة المختزقة ، ويتواجد أكثر بالقرب من قلب الشلال .أيضا المركبة الكهرومغناطيسية هي المركبة الأكثر عددا لكونها تتغذى من المركبتين الهادرونية و الميونية .

وفي الاخير قمنا بدراسة خواص الشلالات الهوائية بفرض وجود مرصد الحضنة ،وتحصلنا على نتائج مماثلة

Abstract

Cosmic rays are particles that reach Earth from different Sources in the Universe, like Sun, supernovae, other galaxy, AGN and GRB. Once reaching Earth atmosphere, primary cosmic rays interact and produce air showers. Those showers contain billion of particles, called secondary cosmic rays.

In order to study cosmic rays air showers, we use Monte Carlo public code as Aires. We studied lateral and longitudinal profiles of high energy cosmic rays air showers.

We studied the air shower properties in different observation sites, and we focalized on ALHodna site, based in M'sila, where we found similar properties of air showers as in the Japanese site AGASA

Résumé

Les rayons cosmiques sont des particules qui arrivent à la terre à partir de différent sources dans l'univers, comme le soleil, les supernovae et les autres galaxies.

Quand un rayons cosmique interagit dans l'atmosphérique de particules appelées rayons cosmiques secondaire

L'étude de talles gerbes se base sur simulations numériques utilisant des codes mont Carlo, comme le programme Aires.

Ce dernier permet l'étude des profils latéral et longitudinal de le gerbe atmosphérique

Nous avons étudié les propriétés des gerbes atmosphérique dans un observatoire du rayons cosmique ALHODNA basé à M'sila.

.

