جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

الاشعة الكونية

بحث مقدم من قبل الطالبة

طيبة علي طالب

الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء

بأشراف

د. انتهاء عبدالله الجبوري

2023

1444

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾﴾

صدق الله العظيم

«سورة المجادلة: الآية 11»

الاهداء

الى الكهف الحصين وغياث المضطر المستكين وملاذ المؤمنين .

إن حقوق إمامنا صاحب العصر والزمان أرواحنا فداه علينا كثيرة :

فهو العمود بين السماء والارض ...

وهو الشمس التي حجبتها غيوم ذنوبي الكثير

نأي حقٍّ منه لا أستطيع أن أقابله بالشكر والاحسان .

فكل شكر اليه ، هو بالحقيقة منه واليه .

ويقال إن النبي سليمان بن داود عليه السلام قَبل هدية القنبرة .

وكانت تلك الهدية جراده .

فعلّ إمام زماني يقبل هديتي هذه المتواضعة فهي منه واليه .

وهديتي له عبارة عن بحث علمي .

ليفي لنا الكيل ويتصدق علينا ان الله يجزي المتصدقين .

إذ مسنا الضر وهو الرحمة للعالمين

واهدي بحثي الى مولاتي السدة زينب عليها افضل الصلاه و السلام

الشكر والتقدير

الحمد الله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد (صلى الله عليه واله وسلم)، وبعد فاني احمد الله كثيرا واشكره شكرا وفيرا لما وفقني له واعانني في اتمام بحثي هذا وان اسجل اجلالا وعرفانا عظيم شكري وامتناني للدكتوره (انتهاء عبدلله الجبوري) المشرفة على هذا البحث لما بذله من جهد علمي صادق، ولما غمرتني به من خلق علمي وتوجيهات رشيدة كما ان شكري موجه الادارة كلية التربية للعلوم الصرفة بجامعة بابل قسم الفيزياء للمجهودات المبذولة من قبل اساتذتنا الكرام في الجامعة لتوفير أفضل بيئة للتدريس في افضل الاحوال التي تلائم طلبة العلم.

كذلك شكري وحبي الى اسرتي وبالأخص ابي وامي واخوتي لما قدموه من تعاون ومشقة وصبر اثناء الانشغال بالدراسة.

7	الفهرست

الفصل الاول : اكتشافات الاشعة الكونية	1
المقدمة	2
مصادر الاشعة الكونية	3
الانتشار	6
الاشعة الكونية	8
اصل الاشعة الكونية	8
اطياف الطاقة لاشعة الكونية	9
الفصل الثاني :تفاعلات الاشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي	12
وابل الجسيمات المكثفة	13
قياس الاشعة الكونية	14
برنامج محاكاه ايرست	16
يتكون نظام AIRES المثبت	17
برنامج المحاكاة كورسيكا	18
المصادر	20

الخلاصة .

تناولنا في هذا الفصل فصلان يتكلمان عن الاشعة الكونية . حيث جاء الفصل الأول يتكلم عن اكتشاف الاشعة الكونية وكيف جاء انتشارها ومرورها في مراحل عديدة اما الامر الثاني الذي تكلمنا عنه وصادر هذه الاشعة الكونية وبالتأكيد اشعة مثل الاشعة الكونية لها مصادر عديدة . وتناولنا ايضاً الانتشار ففيزياء الاشعة الكونية هي في جوهرها مجال متعدد التخصصات وتكلمنا ايضاً عن الاشعة الكونية ماهي . وما هو اصل الاشعة الكونية وايضاً تكلمنا عن أطياف الطاقة للأشعة الكونية وجاء توضيحها مرفق بمنحني يسمى بمخطط تفاضل طيف الطاقة للأشعة الكونية الابتدائية . أما الفصل الثاني فجاء بعنوان تفاعلات الاشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي حيث جاء الموضوع الأول يتكلم عن وابل الجسيمات المكثف (EAS) وتناولنا فيه ايضاً كيفية قياس الاشعة الكونية وتكلمنا عن برنامج المحاكاة إيرسا ومكوناته للنظام AiREs المثبت وتكلمنا عن برنامج المحاكاة كور يسكا حيث يتكون هذا النظام من أربعة أجزاء أساسية . واخيراً جاءت المصادر

الأشعة الكونية

الفصل الأول

اكتشافات الأشعة الكونية

(1-1)المقدمة:

تبدأ قصة الأشعة الكونية عام 1780. في أحد الأيام كان الفيزيائي الفرنسي تشارل أوجستين دي كولوم يراقب جسمًا كرويًا مشحونًا بالكهرباء، حينها فوجئ كولوم ليرى أن الكرة فقدت شحنتها فجأة بدون سابق إنذار. في تلك الفترة أيضًا كان يُعتقد أن الهواء عازل للكهرباء وليس موصلًا، وبالتالي فتفسير الأمر بأن الشحنة الكهربية انتقلت عن طريق الهواء كان مستحيلًا، لم يتوصل أحد لتفسير لما حدث لفترة طويلة ولكن العلماء كانوا على دراية بأن هناك شيئًا غامضًا حولهم.

زال جزء صغير من الغموض حين أدرك العلماء أن الهواء بإمكانه توصيل الكهرباء إذا تم شحن أو تأيين جزيئاته، وهذا عادةً ما يحدث حين تتفاعل تلك الجزيئات مع جسيمات مشحونة أو أشعة سينية. إذن يمكننا تفسير ما حدث للكرة بأنَّ جسيماتٍ ما على شكل إشعاع أثرت على الهواء المحيط بها وعلى شحنتها الكهربية، ولكن هذا لم يكن كافيًا، ما هي تلك الجسيمات؟ ومن أين أتت؟

قامت العديد من المحاولات لفهم طبيعة ذلك الإشعاع وباءت جميعها بالفشل، حتى محاولة صد هذه الأشعة باستخدام كمية كبيرة من الرصاص فشلت كذلك[1]

توقفت سلسلة الإخفاق عام 1912 حين قام الفيزيائي فيكتور هيس بالتحليق بمنطاد حتى وصل إلى ارتفاع 5300 متر فوق سطح الأرض، حينها اكتشف هيس وجود ثلاثة أضعاف كمية الأشعة المؤينة الموجودة على الأرض في ذلك الارتفاع. كان هذا يعني شيئًا واحدًا، وهو أن مصدر تلك الأشعة الغامضة لا بد وأن يكون الفضاء الخارجي، ومن هنا تم اكتشاف الأشعة الكونية، وحصل على اثرها جائزة نوبل للفيزياء على اكتشافه.

العناصر المشعه: هي العناصر التي تكون نواتها غير مستقرة الحركة نتيجه لزياده عدد البروتونات والنايترونات ولها تقسمات عديده

اكتشف العالمان لمبل وود عام (1906) نشاطا اشعاعيا ضعيفا في البوتاسيوم والروبيديوم وبعد ذلك بست وعشرين عاما اكتشف العالمان هفزي وباهل عام (1932) ان هناك نشاطا اشعاعيا في السماريوم واكتشف

1

[1] V.F. Hess, Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten, Phys. Z., 13-1084-1091 (1912).

حديثا عددا من النظائر المشعه الموجوده في الطبيعة، ان النظير المشع لبعض العناصر موجود بنسبه ضئيله في الطبيعة وفي حالات أخرى تكون فترة نصف العمر ل النظير المشع طويله جدا هذان العاملان يؤديان إلى نشاط ضعيف للعينه المدروسه مما يصعب عملية الكشف عن هذا النشاط ويتوقع العلماء انه بالإمكان اكتشاف نظائر مشعه أخرى في الغلاف الجوي. تنشأ الاشعه الكونيه من مصادر عديده في الفضاء ويعتقد العلماء ان النجوم المنفجره المسماة سوبرنوفا والنجوم عالية الكثافة المسماة المنبضات تنتج كميات كبيره من الأشعة الكونيه كما ان بعض الاشعه الكونيه تنتجها الشمس، لكن الأشعة الكونيه ذات الطاقة العاليه جدا هي فقط التي تستطيع اختراق الغلاف الجوي الارضي، واقل من واحد في المليون من الأشعة المخترقه هو الذي يصل إلى سطح الأرض دون ان يصطدم بذره في الهواء وتؤدي هذه التصادمات إلى تحطيم كل من الشعاع الكوني والذرة مولدا فيضا من الجسيمات تحت الذرية ذات الطاقة العاليه[2]

(2-1)مصادر الاشعة الكونية

والآن مازال لدينا سؤالان، ما الأشعة الكونية؟ وما مصدرها؟

الأشعة الكونية عبارة عن شظايا أو ذرات تهطل على كوكبنا من خارج النظام الشمسي بسرعة تقرب من سرعة الضوء، تتكون الأشعة من جسيمات سالبة كالإلكترونات أو جسيمات موجبة كالبروتونات أو أنوية ذرية وتتسبب في العديد من الآثار على كوكبنا، إلا أن ما لاحظناه أنا وأنت من آثارها في حياتنا اليومية على الأرجح لم يتعد تسببها في بعض المشاكل بالأجهزة الإلكترونية والأقمار الصناعية.

أما بالنسبة لمصدرها، في الحقيقة، نحن لا نعلم تحديدًا، على الرغم من أنه مر أكثر قرن كامل على اكتشافها إلا أن مصدرها مازال لغزًا بالنسبة إلينا. ولكن بالطبع قامت العديد من المحاولات لتتبع مصدرها. وفي عام 2013، أصدرت ناسا نتائجَ رصدٍ لاثنين من بقايا مستعرات عظمى بدرب التبانة، (IC 433)و(W44)

من ضمن مكونات الانفجارات النجمية تلك كانت فوتونات أشعة جاما، وهي على عكس الأشعة الكونية لا تتأثر بالمجال المغناطيسي. أشعة جاما التي أجريت الدراسات عليها اتضح أن طاقتها شبيهة بجسيمات دون

[2] LEV I. DORMAN and IRINA V. DORMAN, COSMIC RAY HISTORY, 2014 by Nova Science Publishers, Inc

ذرية تسمى بالبيونات(Pions) ، تنتج البيونات حينما تعلق بروتونات بمجال مغناطيسي كالموجود بداخل الموجة الصدمية الحادثة في المستعر الأعظم وتتصادم ببعضها[3]

إذن، نستطيع هنا استنتاج أن تشابه علامات الطاقة يدل على أن البروتونات قد تتحرك بسرعة كافية بداخل المستعر الأعظم لتكوين الأشعة الكونية، ومن هنا جائت نظرية كون المستعرات العظمى هي مصادر الأشعة الكونية.

ولكن بالطبع لا يمكن أن نعد هذه النظرية أكيدة، فمثلًا ليس هناك تفسير بعد لكيف يمكن لمستعر أعظم أن ينتج كميات الأشعة تلك بهذه السرعة الفائقة.

محاولة أخرى هدفت للتعرف على مصدرها عن طريق دراسة تكوينها، ولا يمكن لهذا أن يكون صعبًا نظرًا لأنها تهطل على كوكب الأرض باستمرار، الأشعة الأولية عالية الطاقة منها تتصادم مع الجزء العلوي من الغلاف الجوي ونادرًا ما تكمل رحلتها لسطح الأرض، أما الأشعة الثانوية يتم لفظها من هذا التصادم حتى تصل لنا على الأرض. بحلول الوقت التي تصل فيه هذه الأشعة للأرض يصبح من المستحيل لنا اقتفاء أثرها لمعرفة مصدرها، هذا بسبب أن مسارها قد تغير عدة مرات خلال رحلتها حيث إنها مرت بعدة مجالات مغناطيسية كالمجال الخاص بالمجرة والنظام الشمسي والخاص بالأرض نفسها لذا لجئنا لدراسة التركيب.

حوالي 90% من أنوية الأشعة الكونية عبارة عن هيدروجين (بروتونات)، و9% عبارة عن هيليوم (جسيمات ألفا)، أما الـ1% المتبقية عبارة عن أنوية خاصة بعناصر أثقل عديدة، من هذه الـ1% يحاول العلماء البحث عن عناصر نادرة لعمل مقارنات بين الأنواع المختلفة للأشعة الكونية.

حاول العلماء أيضًا تتبع مصدرهم عن طريق النظر في الأنوية المشعة التي تتحلل بمرور الزمن، عن طريق دراسة فترة عمر النصف للأنوية وبالتالي تحديد المدة التقريبية التي ظلت فيها هذه الأنوية في الفضاء[4].

على كلٍّ، كونها مجهولة المصدر جعلها فقط أكثر إثارة للاهتمام، حتى أن استخدامها تعدى نطاق علم الفلك؛ ففي عام 2017 حين اكتشف فريقُ بحثٍ جزءًا فارغًا داخل أحد أهرامات الجيزة والذي تم بناؤه عام 2560 قبل الميلاد. تم اكتشاف هذا الفراغ بتقنية التصوير المقطعي باستخدام الميوونات Muon)

[3] V.F. Hess, Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten, Phys. Z., 13-1084-1091 (1912)

[4] LEV I. DORMAN and IRINA V. DORMAN, COSMIC RAY HISTORY, 2014 by Nova Science Publishers, Inc

(Tomography، وهي تقنية تستخدم ميوونات الأشعة الكونية لتكوين صور ثلاثية الأبعاد للأحجام معتمدة على اختراق الأشعة الكونية للأجسام الصلبة.

مصادر هذه الأشعة عديدة فمنها مثلا أشعة مصدرها النتوءات التي تبرز من قرص الشمس وتبلغ سرعتها (200060) كيلومتر في الثانية، ويطلق عليها الرياح الشمسية، وأشعة مصدرها النجوم وتكون خاطفة لكنها قوية جداً وتنشأ من اندماج المجرات وهي الأشعة الناتجة في السدم، وهناك أشعة كونية تأتي من مصادر مجهولة في أقاصي الجزء المنظور من الكون، مسار الأشعة الكونية في الفضاء يتبع خطوط القوى المغناطيسية للشمس والكواكب، وبدراسة أنواع الأشعة الكونية المختلفة يمكن معرفة كيفية تكون النجوم ونشوء الكون.

حتى من خلال النجم عندما يصل اي نجم الى مراحله الاخيرة من عمره ثم ينفجر مكون ما يسمى بـ (السوبرنوفا) حيث انها المرحلة النهائية للنجم ثم ينفجر ليكون نجوم اصغر منه وكذلك ينتج عنه كم هائل من جسيمات الاشعة الكونية تمتد الى عشرات الكيلو مترات وتبقى في الكون لاسابيع او اشهر او حتى سنوات. حيث عندما ينطلق جسيم الاشعة الكونية في الفضاء فأنه يمر بعدة مجالات مغناطيسية ليصل الى الغلاف الجوي للارض وهذه الحقول المغناطيسية سبب تسارعه الى مثل هكذا طاقات عالية جدا، مثل المجال المغناطيسي للمجرة والمجال المغناطيسي للشمس وكذلك المجال المغناطيسي للارض.

منذ اكتشافها تم التعرف على الكثير منها لكن مازال هناك الكثير من الغموض. حيث يعد تكوين اعلى طاقة احد اكثر الظواهر غموضا في الكون. قد تحمل الأشعة الكونية طاقة عالية جداً تفوق (1000) جيجاإلكترون فولت(1000 GeV) ، وهذا قدر من الطاقة أكبر بكثير مما استطاع العلماء تعجيل الجسيمات إليه في معجلات الجسيمات حتى وقت قريب، وقد بدأ مصادم الهدرونات الكبير المبني تحت الأرض باتساع (27) كيلومتر قرب مدينة جينيف وهو يسرع البروتونات إلى نحو (7000) جيجا إلكترون فولت [5]

.

[5] LEV I. DORMAN and IRINA V. DORMAN, COSMIC RAY HISTORY, 2014 by Nova Science Publishers, Inc

(1-3)الانتشار

أما بالنسبة للفلك، فقد ساعدتنا على فهم الفضاء بشكل كبير، تحديدًا على فهم الخطر المحدق الذي يهددنا بسبب الفضاء. كما ترى، المجال المغناطيسي للأرض يحميها من حوالي 99.9% من الإشعاع الصادر من الفضاء.

أما بالنسبة لشخصٍ خارج مجال الأرض، فالإشعاع الفضائي يصبح خطرًا جديًّا. قام كيريوستي، المسبار الخاص بناسا، أثناء رحلته على المريخ بتحديد أن كمية الإشعاع التي سيتعرض لها أي رائد فضاء في أقصر رحلة بين الأرض والمريخ تساوي حوالي 0,66 زيفرت، هذا يعادل الحصول على تصوير مقطعي للجسم كاملًا كل خمسة أو ستة أيام. جرعة من 1 زيفرت يصحبها زيادة تساوي 5,5% في معدل الإصابة بسرطان مميت، أنا وأنت وأي شخص يحيا على الأرض نتعرض لجرعات يومية من الإشعاع عادة لا تتعدى 10 ميكرو سيفرت، أي 0,00001 سيفرت.

ليس لدى القمر غلاف جوي ومجاله المغناطيسي ضعيف للغاية، إن أردنا بناء مستعمرات هناك في يوم من الأيام فسنحتاج إلى أخذ احتياطات عديدة، أو فقط نقوم بالبناء تحت سطح الأرض. المريخ كذلك ليس لديه مجال مغناطيسي، كما أن الجسيمات القادمة من الشمس قد محت معظم الغلاف الجوي الخاص به مما أدى إلى أن الحماية التي يوفرها ضد الأشعة ضئيلة للغاية. الجانب المشرق هو أن مقدار الحماية يصبح أفضل قليلًا كلما انخفضت عن مستوى سطح الأرض[6]

توفر الأشعة الكونية عينتنا المباشرة الوحيدة من المواد من خارج النظام الشمسي. يعكس تكوينها طبيعة عمليات التخليق النووي التي يتم من خلالها تكوين جميع عناصر الجدول الدوري في المجرة. بالإضافة إلى ذلك ، يتم تسريع الأشعة الكونية إلى سرعات نسبية من خلال عمليات تركز فيها الطبيعة كميات هائلة من الطاقة في عدد قليل نسبيًا.حبيبات. يبدو أن عمليات التسارع هذه تحدث على مجموعة متنوعة من المقاييس في البلازما الفيزيائية الفلكية. نظرًا لأن بعض الأشعة الكونية لها طاقات أعلى من حزم الجسيمات التي يصنعها الإنسان ، فهي أيضًا ذات أهمية لدراسة تفاعلات البروتونات والنوى الذرية عند طاقة فائقة

وبالتالي فإن فيزياء الأشعة الكونية هي في جوهرها مجال متعدد التخصصات ، يلامس علم الفلك والفيزياء الفلكية عالية الطاقة والفيزياء النووية وفيزياء البلازما وفيزياء الجسيمات الأولية. لقد بدأ كدراسة الجسيمات

[6] K. Greisen, Cosmic ray showers, Annual Review of Nuclear Science, 10-63-108 (1960).

النشطة في الغلاف الجوي ، والتي نعرف الآن أنها نتاج التفاعلات النووية بين الأشعة الكونية الأولية ونواة الهواء. في السنوات الـ 35 الماضية على ارتفاعات عالية

تحمل البالونات والمركبات الفضائية أدوات فوق معظم الغلاف الجوي ، وتحول تركيز دراسات الأشعة الكونية إلى أطياف التركيب والطاقة للجسيمات الأولية نفسها ، والتي تشمل النوى الذرية والإلكترونات. ومع ذلك ، لا يزال الوصول إلى الأشعة الكونية الأعلى طاقة فقط

التجارب السطحية التي يمكنها التغلب على المعدل المنخفض للغاية لهذه الأشعة الكونية عن طريق تعريض أجهزة الكشف ذات المساحة الكبيرة لفترات طويلة. بالإضافة إلى ذلك ، تعتبر النيوترينوات الثانوية والميونات ذات أهمية كبيرة في الوقت الحالي للتجارب العميقة تحت الأرض ، وهناك بحث مكثف عن أحادي القطب المغناطيسي في الأشعة الكونية

الفرصة الرئيسية للعقد الحالي هي القدرة التي يوفرها مكوك الفضاء لوضع أجهزة كشف كبيرة في الفضاء وزيارتها لاحقًا للإصلاح. بحلول أوائل التسعينيات من القرن الماضي ، سيتم استكمال هذه القدرة بمحطة الفضاء ، والتي ستوفر وجودًا دائمًا مأهولًا في الفضاء وتسمح بالصيانة الروتينية وتعديل الأدوات المدارية بالإضافة إلى التجميع من الأدوات التي قد تكون أكبر من أن ترفع إلى المدار. سيسمح لنا الجمع بين المكوك والمحطة بوضع أنواع جديدة من الأدوات في الفضاء ، مما يؤدي إلى مستويات جديدة من الدقة لأجهزة الأشعة الكونية وتوسيع نطاق المراقبة المباشرة لمكونات الأشعة الكونية الرئيسية بعدة أوامر من حيث الحجم في الطاقة. ستبقى الكاشفات الأرضية المصدر الوحيد للمعلومات في أعلى نظام للطاقة ، حيث من المحتمل أن تفشل آليات التسارع والحبس المجري ، ويتوقع المرء الانتقال إلى جسيمات من خارج مجرتنا. في كل من الرصدات الفضائية والأرضية ، أصبح من الممكن الآن استخدام الأدوات التي ستكون قادرة على معالجة بعض المفاتيح أسئلة الفيزياء الفلكية لعمليات التخليق النووي وتسريع الجسيمات ، وكذلك أسئلة فيزياء تفاعلات الجسيمات في الطاقات العالية للغاية [7]

[7] Maurice M Shapiro, Astrophysics at Ultra-High Energies, 2006.

(1-4)الاشعة الكونية

الأشعة الكونية عبارة عن جسيمات ذرية عالية الطاقة إلى حد كبير ـ وهي في الأغلب بروتونات ونُويات ذرية مصحوبة بانبعاثات كهرومغناطيسية ـ تنتقل عبر الفضاء، ثم تقصف سطح الأرض في نهاية المطاف. وهي تسافر بسرعة الضوء تقريبا، أي ما يقرب من 000 300 كيلومتر في الثانية.[8]

(1-5)اصل الاشعة الكونية

اصل الأشعة الكونية منذ اكتشاف الأشعة الكونية في القرن الماضي والأسئلة تحوم حولها. ومن أهمها وأكثرها غموضا منبع ومنش

الأشعة الكونية العالية الطاقة (UHECR) ، والسؤال المطروح من أين تستمد طاقتها وما مصادرها ؟ -

فقد رشح العلماء بعض المصادر لهذا النوع من الأشعة الكونة أهمها : أدوية المجرات النشطة .. AGN - البلازرات والمستمرات العلمية المناطق المحيطة بالقرب السوداء والنجوم النابضة[9]

فالمستمر الأعظم هو المرشح الأمثل لهذه الجسيمات، فعند موت النجوم تنفجر على شكل مستمر أعظم وتحرر طاقة نحو$10^{44}j$ جول و تقذف المادة نحو الفضاء حيث تصل سرعة الجسيمات إلى 10^{15}الكتروفولط و أكثر .

[8] T. DJEMIL, "Calcul du spectre d'énergie des muons atmosphériques à différentes altitudes Option," BADJI MOKHTAR, 2007.

[9] K. Mouna, "Mémoire MASTER interaction des rayons cosmiques de tres haute energie avec l'atmosphere terrestre initiation code CONEX.," Université Badji Mokhtar Annaba, 2017

(6-1)أطياف الطاقة للأشعة الكونية

أطياف الطاقة مرفقة في المنحني شكل 1 يوضح مخطط الطيف التفاضلي الطاقة للأشعة الكونية الابتدائية الذي يتميز بالانتظام شبه تام خصوصا في المجال

$10^{10}(ev) - 10^{21}$وهو خاضع القانون Poisate Law التالي :

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\gamma}$$

المعادلة 1: قانون POISSON Law [10]

حيث :N عدد الجسيمات

E : الطاقة الحركية

γ : الدليل الطيفي

يعتقد العلماء أن معظم الأشعة الكونية التي تصل طاقتها إلى $10^{15}(ev)$على الأقل، تنشا من داخل مجرتنا . فوق هذه الطاقة المرتبطة بما يسمى "الركبة"، يتكاثف الطيف الطاقوي قليلا

فرق ما يسمى "الكاحل" في طاقات حوالي $5 \times 10^{18}(ev)$، يشطح الطيف مرة أخرى؛

غالبا ما يتم تفسير هذه الخاصية الأخيرة على أنها تقطع إلى الجسيمات من أمالي مجري الأكثر صلابة والجسيمات فائقة الطاقة من أساء خارج المجرة [11]

حيث من خلال شكل 1 وتلاحظ أن :

[10] T. DJEMIL, "Calcul du spectre d'énergie des muons atmosphériques à différentes altitudes Option," BADJI MOKHTAR, 2007.

[11] T. Mohamed Cherif, Chapitre 4: Rayons Cosmiques Primaires. Annaba: Université Badji Mokhtar, 2019

من $10^{10} - 10^{15}(ev)$حيث يتغير التدفق التفاضلي بالصيغة $\frac{dN}{dE} \sim 10^{-2.7}$ مما يدل أن الجسيمات قادمة من داخل مجرتنا مثل: الرياح الشمسية والتفاعلات الحاصلة من الإندماج النووي فيها عاليا جسيمانها تكون من الكترونيات ونيترونات

حوالي $3(ev) - 5 \times 10^{15}$ (ev)حيث بتغير المتصدر اللوغاريتمي الدليل الطبقي من حوالي 7 2 إلى 3، يشار إليها عادة باسم الركبة : (keel) ومصدرها عادة جسيمات المستمرات العظمى والنجوم النباضة [12]

حوالي $5(ev) \times 10^{17}$، حيث يصبح المنحدر يساوي تقريبا ديل الصيف الطاقوي 3.3 يسمى الركبة الثانية(kiwee 2)؛ حاليا لا توجد أجراء تصدر جسيمات بهذه الطاقات في ميرنا، أي أن مصدرها من خارج المجرة مثل: التجارات أشعة علما ومناطق حول التقرب السوداء الكبيرة، ألوية المجرات النشطة، ويظهر جليا تناقص تدفق الجسيمات الأولية .

نحو$3(ev) \times 10^{18}$ حيث ينحدر منصر الطيف الطاقوي مرة أخرى تحرقيمة حوالي 2.7-3.0 ونقل سرعة التناقص على عكس ما يحدث عند الركبة، تسمى تلك المنطقة بالكامل - (arkle) عدد الجسيمات الواردة بالندية في هذا المجال، نادرة جدا حيث تقدر بجسيم واحد لكل كيلومتر مربع في السنة "Part) (cle km $^{-2}$ year $^{-1}$، وهذه المعطيات بالكاد تسمع لنا يرسم مخطط له في هذا المجال الطاقي العالي جدا[13]

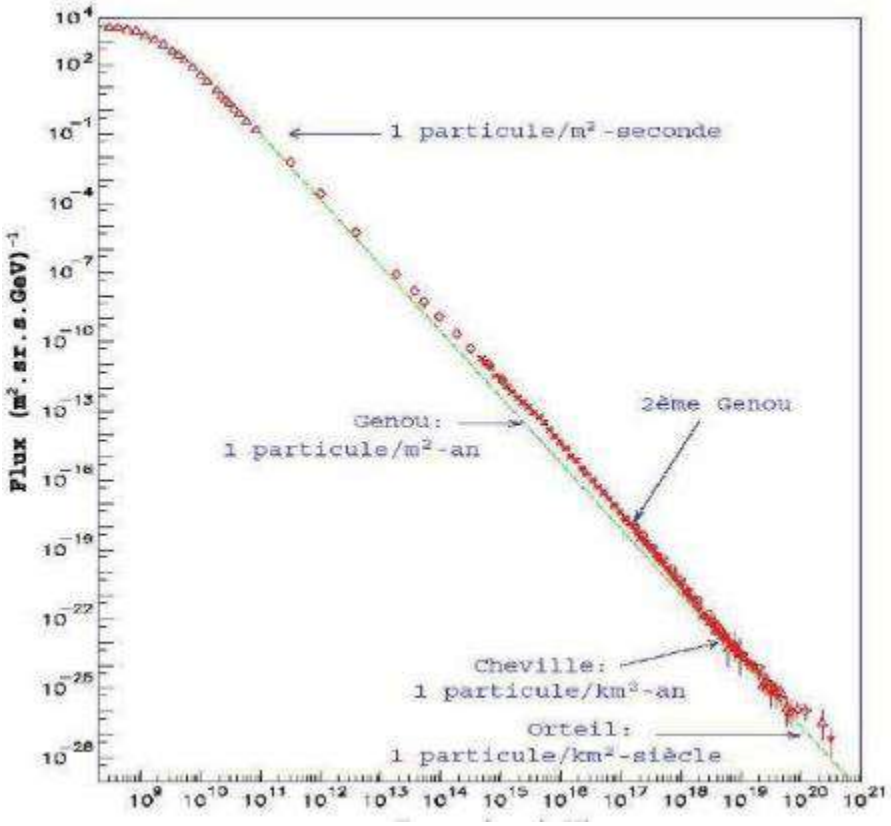
لما تتجاوز الطاقة المجال ev $10^{19} - 10^{20} * 9 \sim E$ ينعدم التدفق تقريبا حيث يصل إلى جدهم واحد لكل كيلومتر مربع

في القرن (Particle , km^{-2} , century $^{-1}$) ويدعى ذلك المجال بـ (toc)إصبع (القدم أعتقد أننا لم اتقدم تكنولوجيا - في المستقبل القريب - فيما يخص الكواشف والتلسكوبات ستتحسن قيمة التدفق في هذا

[12]ب، شبابحي, "مذكرة ماستر محاكاة الشلالات الهوائية للأشعة الكونية عالية الطاقة, " جامعة المسيلة 2013

[13] S. Rafik, "Mémoire MAGISTER Noyaux actifs de galaxies (AGN) et origine des rayons cosmiques d'énergie extrême," Université Badji Mokhtar-Annaba, 2010.

المجال وستستطيع رسم خريطة للجسيمات العائلة الطاقة وبذا تعرف شيئا عن سلوكها لتضح الصورة حولها.



شكل رقم (2) مخطط تفاضل طيف الطاقة للاشعة الكونية الابتدائية [14]

[14] أ. دلهوم, "قياس جرعة الأشعة الكونية في الغلاف الجوي." جامعة باجي مختار, 2013

الفصل الثاني

تفاعلات الأشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي

(2-1)وابل الجسيمات المكثف (EAS)

تم تصنيف جسيمات الاشعة الكونية الى صنفين هما، اولا جسيمات اولية وهي الجسيمات التي تأتي من الفضاء الخارجي قبل ان تصطدم بسطح الغلاف الجوي للارض. والتي تكون معظمها نوى مؤينة حوالي (86 % بروتونات، 11 % جسيمات الفا، 2% جسيمات مضادة مثل البوزترون، 1% انوية ثقيلة) والتي تتميز بطاقاتها العالية جدا. اما الصنف الثاني هي جسيمات ثانوية والتي هي الجسيمات الناتجة من تفاعل الجسيمات الاولية مع نوى ذرات الغلاف الجوي للارض مثل (البيونات والكايونات والالكترونات والميونات والنيوترونات وكذلك اشعة كاما وغيرها).

حيث تم تقسيم الجسيمات الثانوية الى ثلاث انواع وتسمى الشلالات الهوائية وتقسم حسب نوع الجسيم الثانوي الناتج وهي (الهادرونات، الكهرومغناطيسي، الميونك). حديثا تم استخدام جسيمات الميونات الناتجة من تفاعلات الاشعة الكونية في تصوير الاجسام بالضبط مثل الاشعة السينية المستخدمة بالطب لكشف الكسورومشابه ذلك. لكن الاختلاف هو ان تصوير الاشعة السينية للاشياء الصغيرة اما الميونات تستخدم للاشياء الكبيرة مثل البراكين والجبال وغيرها[15].

ان دراسة الاشعة الكونية دراسة مهمه للغاية لان الجسيمات المشحونة التي تصل الى سطح الارض لها تأثيرات على الانسان والحيوانات والنباتات وغيرها.
فعندما تصطدم الاشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي سف تتفاعل معها لتنتج كم هائل من الجسيمات الثانوية. وتبدأ هذه الجسيمات الثانوية بالتفاعل مرة اخرى لانتاج جسيمات اخرى حيث يستمر هذا التفاعل على شكل سلسلة الى ان يصل الى طاقة معينة يقف عندها التفاعل وتسمى (الطاقة الحرجة). ويسمى هذا التفاعل الناتج من تفاعل جسيم واحد من الاشعة الكونية مع نوى واحدة من الغلاف الجوي وخلق كم هائل من الجسيمات بـ (وابل الجسيمات المكثف) ويرمز له (EAS) او يسمى الشور الهوائي.

في نهاية هذا التفاعل انتاج جسيمات ثانوية قد تصطدم بسطح الارض، لذلك تم وضع منظومات على سطح الارض لقياس وكشف هذه الجسيمات الناتجه من تفاعلات الاشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي

[15] J. Simpson, Elemental and isotopic composition of the galactic cosmic rays, Annual Review of Nuclear and Particle Science, 33-323-382 (1983)

للارض والتي تتكون هذه المنظومات من عدة كواشف مرتبة ومنظمة بشكل معين من حيث المسافة والارتفاع وكذلك النوع وغيرها.

توفر نظرة ثاقبة فريدة لدراسة الشلالات الناتجة عن تفاعلات الاشعة الكونية مع نوى ذرات الغلاف الجوي للأرض ، لأنها تعطي طاقة أعلى بكثير من تلك التي تم الحصول عليها في التصادمات من صنع الإنسان على خصائص تفاعل هادرون في الطاقات العالية، لا يمكن للنموذج التحليلي البسيط أن يشرح بدقة إنشاء الشوار الشامل لأنه معقد للغاية، لذلك عادةً ما يتم تصميمها باستخدام محاكاة مونت كارلو لنقل وتفاعل كل جسيم شوار فردي ، بناءً على فهمنا الحالي للتفاعلات ، والانحلال ، ونقل الجسيمات في المادة بسبب تعقيدات الأنظمة المعنية التي تحدث أثناء إنشاء شوار هوائي ، غالبًا ما تستخدم المحاكاة العددية لإجراء دراسات شاملة لخصائصها لذلك ، يؤثر كل من المحاكاة على تفاعلات الجسيمات والانتقال في الغلاف الجوي ، وكذلك الافتراضات النموذجية ، تؤثر على النتائج الكمية يجب أن تؤخذ جميع العمليات التي لها تأثير كبير على إجراءات الشوار الهوائي في الاعتبار من خلال خوارزميات المحاكاة وكذلك كل التفاعلات الكهروديناميكية ، وتصادم الهادرونيك ، والعمليات النووية الضوئية ، وانحلال الجسيمات ، وما إلى ذلك بينما ، يوجد برامج خاصة لمحاكاة الاشعة الكونية والجسيمات الناتجة منها ومن ضمنها برنامج المحاكاة ايرس (AIRES) وكذلك برنامج كورسيكا.(CORSIKA)[16]

(2-2)قياس الاشعة الكونية

يمكن قياس تركيبة CRs عند الطاقات المنخفضة (0.1 - 100 TeV) باستخدام تقنيات الكشف المباشر مثل المسعرات والمقاييس الطيفية. في حين أن التدفق المنخفض للغاية يمنع القياس المباشر للتكوين عند طاقات أعلى. وبالتالي ، تصبح القياسات المباشرة غير كافية. لذلك ، يمكن إجراء عملية قياس CRs عالية الطاقة من خلال دشات الهواء الواسعة EAS من خلال تقنيتين تؤديان إلى أخذ عينات من الجسيمات الأرضية لجميع أنواع الجسيمات المشحونة وكشف التألق.

[16] M. Rao, and B.V. Sreekantan, Extensive air showers, World scientific, (1998).

قام العلماء ببناء كواشف على سطح الأرض تيتقبل الجسيمات والاشعة الناتجه من تفاعلات الاشعة الكونية وتحليلها عمليا ونظريا عن طريق المحاكاة.

بيير أوجيه. يعتبر أضخم مرصد CRs في العالم ويقع على سهل مرتفع في غرب الأرجنتين. يعود اقتراح إنشاء المشروع إلى عام 1992 ، بواسطة Jim Cronin و Alan Watson. في الآونة الأخيرة ، يعمل أكثر من 500 عالم فيزياء من أكثر من 100 جامعة في كل مكان في العالم معًا للمحافظة عليها وتحديث الموقع في الأرجنتين ، وكذلك جمع وتفسير البيانات التي تم جمعها. تم تقسيم ميزانية البناء (50 مليون دولار) على 15 دولة مشتركة ، مع مساهمة كل منها بنسبة ضئيلة من النفقات الإجمالية. أهداف المرصد هي التحقيق في خصائص وأصول CRs فوق eV ، بالإضافة إلى تفاعلات هذه الجسيمات النشطة للغاية. يتميز تكوين أوجيه بمجموعة من 1660 مركزًا لرصد الجسيمات Water-Cherenkov متباعدة على مسافة تزيد عن 3000 كيلومتر ومراقبتها بواسطة 24 تلسكوبًا مضيئًا للهواء. علاوة على ذلك ، هناك ثلاثة تلسكوبات مضان على ارتفاع عالٍ للغاية تطل على مصفوفة مملوءة بـ 61 كاشفًا بمسافة 750 مترًا على طول 23.5 كم[17]

في عام 2016، وجدت مركبة فضائية تابعة لوكالة الفضاء الأمريكية، ناسا، أنّ معظم هذه الاشعة الكونية تأتي على الأرجح من التجمّعات القريبة (نسبياً) للنجوم الضخمة. وقد رصدت مركبة مستكشف التكوين المتقدم Advanced Composition Explorerالتابعة للوكالة الأشعة الكونية نشاط إشعاعي يتشكّل من الحديد، والمعروف ب الحديد-60. ونظراً لأن هذا الشكل من الاشعة الكونية يتحلّل بمرور الوقت، فيُقدر العلماء أنه يجب أن تكون قد نشأت على بعد لا يزيد عن 3000 سنة ضوئية عن الأرض، وهي المسافة المساوية لعرض الذراع الحلزونية المحلية لمجرة درب التبانة. وقد أُطلقت تجربة سُمِّيت بتجربة كتلة وطاقة الأشعة الكونية Cosmic Rays Energetics And Mass Experiment) يطلق عليها اختصاراً (CREAM إلى محطة الفضاء الدولية عام 2017. ومن المتوقع أن تعمل التجربة لمدة ثلاث سنوات لتجيب عن أسئلة جدلية مثل ما إذا كانت المستعرات العظمى تولّد معظم الأشعة الكونية، ومتى تنشأ الأشعة الكونية، وما إذا كان يمكن تفسير جميع أطياف الطاقة للأشعة الكونية بآلية واحدة. وتستضيف محطة الفضاء الدولية تلسكوب الالكترون المسعري CALorimetric Electron Telescope الذي يبحث عن الأشعة الكونية ذات أعلى أنواع الطاقة، وقد أُطلق هذا التلسكوب في العام 2015. ويمكن الكشف عن الأشعة الكونية ايضاً عن طريق المنطاد.

[17] What are cosmic rays?" NASA, Goddard Space Flight Cente.r Archived from the original (http://imagine.gsfc.nasa. gov/docs/science/know_l1/cosmic_rays.html)

وذلك من خلال تجربة مُكتشف تحويل العناصر المجرية الكبير Super Trans-Iron Galactic Element Recorderوالتي تتضمّن مشاركة من مختبر الدفع النفاث Jet Propulsion Laboratoryالتابع لوكالة ناسا ولجامعات أخرى. وقد طار المنطاد مرات عدة بما فيها رحلة نموذجية مدتها 55 يوم فوق القارة القطبية الجنوبية، انتاركتيكا، ما بين شهر كانون الأول/ديسمبر 2012 وحتى شهر حزيران/يونيو 2013، ويقول موقع التجربة: "ندرس أصل الأشعة الكونية من خلال بيانات هذه الرحلة، وبشكل خاص اختبار النموذج الناشئ لأصول الاشعة الكونية في تجمعات من نجوم) OB وهي نجوم شديدة السخونيةOB associations (، وكذلك نماذج لتحديد الجزيئات التي ستُسرَّع."

وفي عام 2017 حدثت قفزة كبيرة للأمام في علم الأشعة الكونية، عندما درس مرصد بيير أوجير Pierre Auger Observatory(والذي يمتد على مساحة أكثر من 3000 كيلومتر مربع أو 1160 ميل مربع) مسارات وصول 30000 جسيم كوني. وأنهى ذلك بأنه يوجد اختلافاً في عدد مرات وصول هذه الأشعة الكونية إلى الأرض اعتماداً على المكان الذي تنظر إليه. قال الباحثون بأنه على الرغم من أنّ أصولهم ما تزال غامضة فإن الخطوة الأولى في سبيل معرفة المكان الذي جاؤوا منه هي معرفة المكان الذي تنظر إليه[18].

(3-2)برنامج المحاكاة ايرس

تُعرف ايرس (AIRES) بأنها مجموعة من البرامج والروتينات الفرعية التي تُستخدم لمحاكاة جسيمات الاشعة الكونية، وهي اختصار لـ "AIR-shower Extended Simulations" ، حيث تُستخدم لمحاكاة الاشعة الكونية التي يتم إنشاؤها عندما تصطدم الأشعة الكونية الأولية عالية الطاقة الغلاف الجوي وإدارة جميع بيانات المخرجات ذات الصلة بها تحاكي ايرس (AIRES) انتشار الجسيمات في الزمان والمكان في إطار عملي ، مع مراعاة خصائص الغلاف الجوي ، وانحناء الأرض ، والمجال المغناطيسي للأرض يتم أخذ العديد من الجسيمات في عمليات المحاكاة باستخدام برنامج(AIRES) ، بما في ذلك "اشعة كاما ، والإلكترونات ، والبوزيترونات ، والميونات ، والميزونات ، والبيونات ، والنيوكليونات ، ، وباريونات لامدا ، والنواة حتى .$Z = 36$" في(EAS) ، قد يكون الجسيم الأساسي عبارة عن بروتون ، أو نواة حديد ، أو

[18] T.K. Gaisser, R. Engel and E. Resconi, Cosmic rays and particle physics, Cambridge University Press, (2016).

أي من الجسيمات الأخرى الموصوفة أعلاه ، مع طاقات تتراوح من أقل من 10^9 الى اكثر من 10^{20} eV [19]

تم تطوير AIRES في قسم الفيزياء ، Universidad Nacional de La Plata و IFLP (CONICET) ، الأرجنتين. تمت كتابته بالكامل بلغة FORTRAN ، مع سلسلة من الوحدات المكتوبة بلغة C++ تسمح باستخدام مكتبة AIRES من بيئة C أو C++ يتكون كود مصدر AIRES 19.04.06 الكامل من أكثر من 2000 إجراء ، مضيفًا ما يصل إلى 300 ألف سطر مصدر (بما في ذلك جميع الحزم الخارجية) التي تم التعليق عليها على نطاق واسع.

(3-2)يتكون نظام AIRES المثبت من:

(1) برامج محاكاة الشور الهوائي الرئيسية ، أيريس S21 ، و آيريسس 23 ، و آيريسس 23 د ، و آيريس إي 99 ، و أيريس إي بي إل إتش سي ، و آيريس QIIr03 ، و آيريس QIIr04 ، والتي تتوافق مع روابط نظام المحاكاة الرئيسي مع إصدارات مختلفة من حزم محاكاة الاصطدام الهادرونيك SIBYLL، EPOS ، و QGSJET ، على التوالي . يكافئ برنامج محاكاة الدش الهوائي الافتراضي ، أيريس ، أيريس S23d.

(2) برنامج الملخص ، أيريسري ، مصمم لمعالجة جزء من البيانات التي تم إنشاؤها بواسطة برنامج المحاكاة ، مما يسمح للمستخدم بتحليل نتائج المحاكاة بعد إكمالها ، أو حتى أثناء تشغيلها.

(3) برنامج الأداة المساعدة AiresMerge لدمج البيانات الموجودة في ملفات IDF أو ADF مختلفة.

(4) برنامج تحويل AiresIDF2ADF لإنشاء ملفات تفريغ محمولة (ADF) من الملفات الثنائية الموجودة (IDF).

(5) مكتبة ، libAires (ثابتة أو ديناميكية) ، من الإجراءات الروتينية التي توفر مجموعة من الأدوات لتحليل بيانات إخراج AIRES والعديد من المهام الأخرى ذات الصلة.

(6) سلسلة من برامج المرافق والوحدات النمطية الخاصة وملفات الإدخال المفيدة لمختلف مهام المحاكاة أو التحليل.

[19] S. J. Sciutto, The AIRES system for air shower simulations. An update (2019).

(7) مجموعة من ملفات بيانات الإدخال التي تتطلبها الحزم الخارجية (مثل EPOS و QGSJET وما إلى ذلك) والتي يمكن تنزيلها وتثبيتها اختياريًا.

تطوير AIRES. تمت كتابة معظم الإجراءات التي تشكل نواة المحاكاة والرياضيات والفيزياء ووحدات الإدخال والإخراج والواجهات مع الحزم الخارجية وأدوات النظام والبرامج النصية للتثبيت بواسطة S.J.Sciutto ((CONICET) IFLP and Física de Departamento ، جامعة لا بلاتا ، الأرجنتين ، 1996-2021). تم تطوير الإجراءات الروتينية التي تحاكي الانحرافات المغنطيسية الأرضية وتأثير LPM و muon bremsstrhlung وإنتاج الأزواج بمساعدة A. Cillis (La Plata)، 1998-2001(تم تصميم نموذج الغلاف الجوي GAMMA وتطويره بالتعاون مع J.C Moreno (La Plata ، 2008-2012(تم تصميم المعالج الأولي HQIP وتطويره بالتعاون مع J. I. Illana و M. Masip (Universidad de Granada ، إسبانيا ، 2010-2014). تم فحص المقاطع العرضية المحدثة للتفاعلات النووية الضوئية بالتعاون مع قناة C.A García (La Plata) و G. Pancheri (INFN Frascati ، إيطاليا)[20]

(4-2)برنامج المحاكاة كورسيكا

CORSIKA هو برنامج لمحاكاة مفصلة للاستحمامات الهوائية الواسعة (COsmic Ray SImulations for KAscade) هو برنامج مونت كارلو مفصل لـدراسة تطور وخصائص دش الهواء المكثفة في الغلاف الجوي. تم تطويره لإجراء عمليات محاكاة لتجربة KASCADE في كارلسروه في ألمانيا. هذه التجربة قياس التركيب الأولي للإشعاع الكوني الأولي في نطاق الطاقة eV 10^{14}× 3 إلى 10^{17} × 1 وبعد ترقيتها إلى KASCADE-Grande وصلت إلى 10^{18} فولت. الإصدار الأول 1.0 من كورسيكا مؤرخ في 26 أكتوبر 1989. منذ ذلك الإصدار تم إصداره ممتد ومتطور بشكل مستمر.

ممتد ومتطور بشكل مستمر. يسمح برنامج كورسيكا بمحاكاة تفاعلات وانحلال النوى ، الهادرونات ،

الميونات والإلكترونات والفوتونات في الغلاف الجوي تصل طاقاتها إلى حوالي 10^{20} فولت. إنه يعطي النوع والطاقة والموقع والاتجاه وأوقات وصول جميع الجسيمات الثانوية التي يتم إنشاؤها في الهواء

[20] http://aires.fisica.unlp.edu.ar/eg_AboutAires.html.

الاستحمام واجتياز مستوى المراقبة المحدد. كورسيكا هي مجموعة كاملة من إجراءات FORTRAN القياسية. لا يستخدم أي مكتبات برامج إضافية لمحاكاة الاستحمام بالهواء. لذلك ، يتم تشغيله (تقريبًا) على كل كمبيوتر يتوفر فيه FORTRAN.

يتكون برنامج كورسيكا بشكل أساسي من 4 أجزاء. الجزء الأول هو إطار برنامج عام التعامل مع المدخلات والمخرجات ، وأداء تحلل الجسيمات غير المستقرة ، وتتبع الجسيمات مع مراعاة فقد طاقة التأين وانحرافها عن طريق التشتت المتعدد والأرض حقل مغناطيسي. الجزء الثاني يعالج التفاعلات الهادرونية للنواة والهادرونات مع نوى الهواء في طاقات أعلى. الجزء الثالث يحاكي التفاعلات الهادرونيك في الطاقات المنخفضة والجزء الرابع يصف النقل والتفاعل بين الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات. يحتوي برنامج CORSIKA على عدة نماذج لأجزاء البرنامج الثلاثة الأخيرة التي يمكن تنشيطها اختياريًا بدقة متفاوتة للمحاكاة واستهلاك وقت وحدة المعالجة المركزية.

يمكن معالجة تفاعلات هادرونيك عالية الطاقة بأحد النماذج: نموذج بارتون ثنائي DPMJETمولد مونت كارلو البسيط HDPM المستوحى من الجزء المزدوج نموذج ويحاول إعادة إنتاج التوزيعات الحركية ذات الصلة التي يتم قياسها ، كواركغلون نموذج السلسلة QGSJET01 ، نموذج النفاثة الصغيرة SIBYLL 8 ، أو VENUS البديل السادس أضيف رابط لنموذج NEXUS ، الذي يجمع الخوارزميات من VENUS و QGSJET بأفكار جديدة ، بناءً على بيانات H1 و Zeus. وشملت آخر النماذج هي EPOS LHC (الإصدار 3400) (استنادًا إلى إطار عمل NEXUS ولكن مع تحسينات مهمة فيما يتعلق بالتفاعلات الصعبة والتأثيرات النووية وعالية الكثافة ، ومراعاة ذلك بيانات LHC) و[QGSJET II-04] الذي يعالج تفاعل Pomeron-Pomeron في أي طلب بما في ذلك المخططات الحلقية (وضبطها على LHC). EPOS هو النموذج الوحيد المتاح هنا إعادة إنتاج بيانات الأيونات الثقيلة من RHIC و LHC [21]

[21] D. Heck and T. Pierog, Extensive Air Shower Simulation with CORSIKA: A User's Guide (Version 7.5xxx from February 26, 2016).

المصادر:

[1] V.F. Hess, Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten, Phys. Z., 13-1084-1091 (1912).

[2] LEV I. DORMAN and IRINA V. DORMAN, COSMIC RAY HISTORY, 2014 by Nova Science Publishers, Inc.

[3] K. Greisen, Cosmic ray showers, Annual Review of Nuclear Science, 10-63-108 (1960).

[4] Maurice M Shapiro, Astrophysics at Ultra-High Energies, 2006.

[5] J. Simpson, Elemental and isotopic composition of the galactic cosmic rays, Annual Review of Nuclear and Particle Science, 33-323-382 (1983).

[6] M. Rao, and B.V. Sreekantan, Extensive air showers, World scientific, (1998).

[7] What are cosmic rays?" NASA, Goddard Space Flight Cente.r Archived from the original (http://imagine.gsfc.nasa. gov/docs/science/know_l1/cosmic_rays.html .)

[8] T.K. Gaisser, R. Engel and E. Resconi, Cosmic rays and particle physics, Cambridge University Press, (2016).

[9] S. J. Sciutto, The AIRES system for air shower simulations. An update (2019).

[10] http://aires.fisica.unlp.edu.ar/eg_AboutAires.html.

[11] D. Heck and T. Pierog, Extensive Air Shower Simulation with CORSIKA: A User's Guide (Version 7.5xxx from February 26, 2016).

[12] لورا غيل – الاشعاع الكوني - -الوكاله الدولية للطاقه الذريه -2021

[13] K. Mouna, "Mémoire MASTER interaction des rayons cosmiques de tres haute energie avec l'atmosphere terrestre initiation code CONEX.," Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.

[14] T. DJEMIL, "Calcul du spectre d'énergie des muons atmosphériques à différentes altitudes Option," BADJI MOKHTAR, 2007.

[15] T. Mohamed Cherif, Chapitre 4: Rayons Cosmiques Primaires. Annaba: Université Badji Mokhtar, 2019

[16] ب، شبابحي, "مذكرة ماستر محاكاة الشلالات الهوائية للأشعة الكونية عالية الطاقة, " جامعة المسيلة 2013

[17] S. Rafik, "Mémoire MAGISTER Noyaux actifs de galaxies (AGN) et origine des rayons cosmiques d'énergie extrême," Université Badji Mokhtar-Annaba, 2010.

[18] أ. دلهوم, "قياس جرعة الأشعة الكونية في الغلاف الجوي." جامعة باجي مختار, 2013