



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

التخصص : فيزياء الجزيئات عالية الطاقة

من طرف

عطوي توفيق

العنوان

دراسة الأشعة الكونية عالية الطاقة وامكانية رصدها عن طريق
التليسكوب JEM-EUSO

المناقشة بتاريخ : 2014/06/19

أمام اللجنة المكونة من :

رئيسا	جامعة المسيلة	أ. محاضر (أ)	أ. بوساهل منير
مقررا	جامعة المسيلة	أ. محاضرة (أ)	أ. قالي سهام
ممتحنا	جامعة باتنة	أ. محاضر (أ)	أ. الزعيم سليمان

دفعة جوان 2014

تشكرات

انه لمن دواعي سروري أن أتقدم بالشكر و العرفان
للاستاذة الفاضلة والمحترمة الدكتورة: قالي سهام لكونها مشرفا و مرشدا و موجها لي في هذه
المذكرة المتواضعة هذا شرف لي يا أستاذتي الكريمة
الشكر الخاص للذين لولاهم لما وصلت إلى هذا المستوى أستاذتي الكرام من الابتدائية إلى
الجامعة

وأیضا الطاقم الإداري لكلية العلوم خاصة قسم الفيزياء
وأخص بالذكر الاستاذ المحترم: منير بوساهل
ولا أنسى طبعاً من ساعدني في انجاز هذا العمل المتواضع وأخص بالذكر: م.نعناعه، س.دنیا،
م.عائشة، م.علي.

كما لا انسى من ساندوني: ش.الصادق، ب.حليمة، س.الزهرة، ه. عبد السلام.

والعم المخلص:عطوي الخثير

والى كل من ساهم في نجاحي من قريب أو من بعيد ألف شكر وتحية

- كلمة شكرا قليلة عليكم-

إهداء

الهي لا يطيب الليل ولا النهار إلا بطاعتك... ولا اللحظات إلا بذكرك... ولا الآخرة إلا بعفوك... ولا الجنة إلا برؤيتك... الحمد لك ملء السماوات والأرض إذ وفقني في هذا العمل سبحانك ربي العالمين إلى من رباني و منحني شرف كوني ابنها و أعطاني الحب و الحنان و زرعاً في نفسي حب العمل من أجل تحقيق أهدافي والداي العزيزان

إلى سندي و افتخاري إخوتي عبد الرزاق، عطية، عبد الملك، عادل، مفتاح، سامي

إلى أختايا الكريمتين وزوجيهما وبنيهما

صهيب و عبد الرشيد

إلى أعمامي وزوجاتهم وأبنائهم

إلى كل زملائي وزميلاتي في مشواري العلمي

مع كل احترامي وتقديري وحي الخالص أقدم لكم هذا العمل المتواضع

فهرس المحتويات

الصفحة	المحتويات
	تشكرات
	اهداء
2-1	مقدمة
الفصل الأول الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية Ultra-High Energy Cosmic rays	
4	1-1- تعريف الأشعة الكونية
5	1-2- إكتشاف الأشعة الكونية
7	1-3- الأشعة الكونية الابتدائية
8	1-4- الأشعة الكونية الثانوية
9	1-5- الطيف الطاقوي
12	1-6- مصادر الاشعة الكونية
16	1-7- ظاهرة القطع GZK
17	1-8- آليات تسريع جسيمات الأشعة الكونية
الفصل الثاني الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO Air ShowerS – Telescope JEM-EUSO	
23	2-1- الشلالات الهوائية
25	2-2- رصد الشلالات الهوائية
27	2-3- انتاج الفوتونات خلال تطور الشلالات الهوائية
31	2-4- التلسكوب JEM-EUSO
34	2-5- مميزات التلسكوبات الفضائية

35	JEM-EUSO تركيبة التلسكوب
<u>الفصل الثالث</u> محاكاة ضوء الفلورة Fluorescence Light Simulation	
41	1-3- محاكاة ضوء الفلورة
45	2-3- حساب قيمة dn/dl وعلاقتها بالدليل الطيفي α
48	3-3- ناتج الفلورة FY_M^L .
58	الخاتمة
60	قائمة المراجع

مقدمة

Introduction

مقدمة:

منذ اكتشاف الأشعة الكونية من حوالي 100 عام مضت من طرف العالم VECTOR HESS، دائما ما تتكرر مجموعة من الأسئلة الرئيسية: ما هو مصدر الاشعة الكونية؟ وما تتكون؟ وما هي الآلية القادرة على تسريعها الى جسيمات فائقة الطاقة ؟ لكن يبقى تسريع الجسيمات بفعل موجة الصدمة للسوبرنوفات النموذج المعمول به، حيث يمكنه أن يفسر ولو بشكل جزئي أصل الاشعة الكونية التي تصل طاقاتها $10^{15} eV$. كما وضعت عدة نظريات لتفسير وجود جسيمات فائقة الطاقة التي تصل $10^{20} eV$ ، لكن رغم كل الجهود المبذولة لذلك تظل الاسئلة الرئيسية مطروحة.

تنتج الاشعة الكونية عند دخولها الغلاف الجوي شلالات هوائية تتكون من مليارات الجسيمات الثانوية التي يمكن الكشف عن جزء منها في مرصد من على سطح الأرض. بفعل تطور الشلالات الهوائية وتفاعل جسيماتها الثانوية مع جزيئات الغلاف الجوي ينتج لنا فوتونات متمثلة في فوتونات الفلورة fluorescence وفوتونات شيرونكوف Čerenkov. فمن خلال هذه القياسات من الممكن اعادة بنا طاقة وكتلة ووجهة قدوم الجسيمات الأولية. لكن ما يعيق البحث عن جسيمات فائقة الطاقة أن التدفق منخفض في مثل هذه المجال الطاقوي، مما يتطلب مساحات واسعة للكشف، وقد حلت المشكلة مع وجود مرصد ارضية تقليدية تحتل مساحات كبيرة جدا مثل: المرصد الدولي Pierre Auger الذي يغطي أكثر من $3000 km^2$.

لتحسين الاحصاءات كان من اللازم زيادة مساحة المراقبة، ولا بديل للزيادة الا بنقل المراقبة الى الفضاء، فلقد اقترح John Linsly عام 1979 فكرة مراقبة الغلاف الجوي من الفضاء مما يسمح بمراقبة الشلالات الهوائية الكبيرة بكل معالمها، لكن في العقد الأخير اقترحت عدة تكرارات لفكرة التلسكوب الفضائي. كان آخر اقتراح التلسكوب JEM-EUSO حيث من المقرر أن يركب على وحدة التجربة اليابانية (JEM) على متن المحطة الفضائية الدولية ISS في عام 2017.

في هذا العمل سنقوم بالتعرف على الأشعة الكونية طيفها الطاقوي ومصادرها وطرق تسريعها في الفصل الأول ثم ننتقل الى تشكل الشلالات الهوائية وتفاعله مع الغلاف الجوي ومراصدها ثم وصف مفصل لتليسكوب JEM-EUSO والتعرف على مختلف مركباته في الفصل الثاني، أما في الفصل الثالث فتناولنا دراسة تفصيلية لضوء الفلورة الذي يهتم التليسكوب JEM-EUSO برصده.

الفصل الأول

الأشعة الكونية فائقة الطاقة

Chapter I

Ultra-High Energy Cosmic Rays

1-1- تعريف الأشعة الكونية : Definition of cosmic rays

الأشعة الكونية هي جسيمات أغلبها مشحونة عالية الطاقة ترد إلى الأرض من مختلف أرجاء الكون. تتكون أساسا من أنوية الهيدروجين وأنوية العناصر الأثقل المعروفة ، كما نجد وينسب ضئيلة الالكترونات والبوزيترونات positrons والفوتونات عالية الطاقة (γ, X).

تسمى الأشعة الكونية بالأشعة الكونية الابتدائية وذلك قبل دخولها إلى الغلاف الجوي إذ تتكون من البروتونات (p) بنسبة 85% وأنوية الهيليوم (α) بنسبة 12% أما المكونات الأخرى تتواجد بنسب ضعيفة جدا. أما الأشعة الكونية الثانوية تنتج من تفاعل الأشعة الكونية الابتدائية مع مكونات الغلاف الجوي للكرة الأرضية. ينتج عن هذا التفاعل شلالات هوائية تتكون من مختلف الجسيمات. تتراوح طاقات جسيمات الأشعة الكونية الابتدائية من 10^8eV إلى غاية 10^{21}eV .

ترد الأشعة الكونية من مصادر متعددة فمنها مصادر توجد داخل المجرة: الشمس، النجوم النابضة والمستعرات العظمية ومنها ما يأتينا من خارج المجرة مثل: الأنوية النشطة للمجرات وانفجارات غاما.

تتأثر الأشعة الكونية الابتدائية خلال تجولها في الكون بالحقول المغناطيسية وهذا حسب طاقاتها. الجسيمات عالية الطاقة تصل إلى الكرة الأرضية كونها لا تتأثر بالحقول المغناطيسية،

لكن بلوغها سطح الأرض يتعلق بموقع واتجاه دخولها الغلاف الجوي للأرض. [17]

1-2- إكتشاف الأشعة الكونية **The discovery of cosmic rays** :

أثناء الحقبة الممتدة من القرن 18 إلى غاية القرن 19 جاءت العديد من الأعمال قام بها عديد من الفيزيائيين مهدت إلى إكتشاف جسيمات آتية من خارج الغلاف الجوي للأرض تم تسميتها بالأشعة الكونية، [10] ومن أهم هذه الأعمال نجد:

* - لاحظ العالم الفرنسي كولم **Coulomb** أنه عند تعليق كرة مشحونة كهربائيا في الهواء فإنها تفقد شحنتها بمرور الوقت لكنه لم يستطع تفسير ناقلية الهواء فكانت هذه أول مرة تشاهد فيها آثار للأشعة الكونية، بعد ذلك أعاد الفيزيائي البريطاني ويلسون **Willson** تجربة كولم من أجل إثبات ناقلية الهواء حيث قام بها كل من اليستر **Elster** و جيتل **Geitel** مما أدى بالتوصل إلى نتيجة ايجابية وتفسير ناقلية الهواء بوجود شعاع مؤين داخل الغلاف الجوي لكن مصدره الحقيقي غير معلوم. [17،7]

* - في سنة 1912 استخدم العالم النمساوي هيسس **Hess** منطاد هوائي لإجراء تجارب حول التفريغ الكهربائي على ارتفاعات عالية حتى عام 1913 على ارتفاع **9km** لاحظ أن سرعة التفريغ الكهربائي تزداد نتيجة الإشعاعات المؤينة التي تزداد بدورها مع الارتفاع عن سطح الأرض مما ترك لديه انطباع على أن مصدرها من الخارج. وتوصل العالم مليكان **Millikan** بأن مصدر التأين يكون من خارج الغلاف الجوي مطلقا على هذه الإشعاعات المؤينة مصطلح جديد يمكن من خلاله الفصل بين النشاط الإشعاعي الطبيعي (يكون داخل الغلاف الجوي) والإشعاع القادم من خارج الغلاف الجوي مانحا له اسم الأشعة الكونية. [11،2]

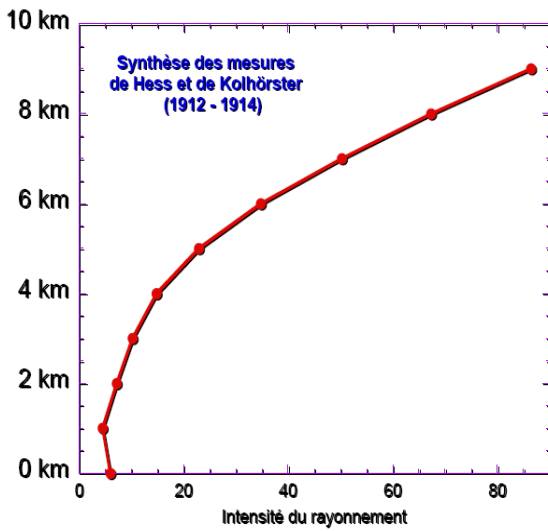
* - قام العالم رينير **Régner** وبعده العالم فوتزر **Photzer** بإثارة الشكوك حول مصدر الأشعة الكونية، استخدم فوتزر **Photzer** عداد جيجر - ميلر (**Geiger-Muller**) لقياس شدة الإشعاع المؤين على ارتفاعات مختلفة على حدود **15 km** فلاحظ أنها تزداد إلى أن تأخذ قيمة عظمى عند الارتفاع **15km**، ثم تبدأ بالتناقص وكأن مصدرها هو ذلك الارتفاع. لكن في

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

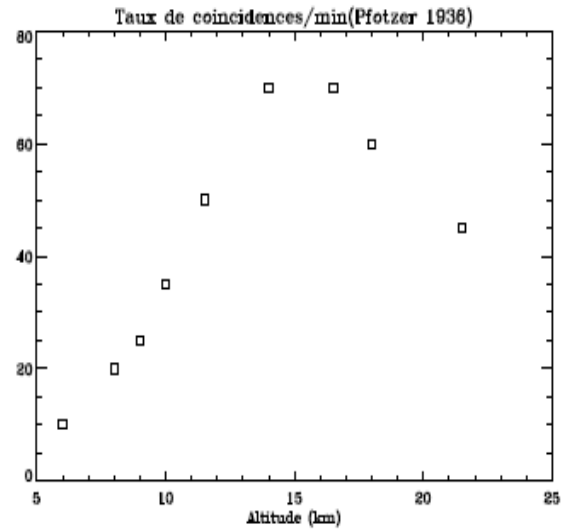
نهاية المطاف تم من خلال هذه النتائج الاتفاق على أن المصدر خارج الغلاف الجوي والتميز بين نوعي الأشعة الكونية ابتدائية من ثانوية. [17]

*- سنة 1933 اكتشف أندرسون **Anderson** أثناء رصد آثار الأشعة الكونية على جهاز (**cloud chamber**) جسما جديدا له نفس كتلة الإلكترون ويحمل شحنة موجبة. كان هذا الاكتشاف إثباتا لنظرية ديراك (عن وجود المادة المضادة) سمي هذا الجسيم البوزيترون **positron**. وتتالت الاكتشافات مثل اكتشاف الميونات عام 1938 والبيونات عام 1947.

*- في سنة 1938 قام العالم بيار اوغر **Pierre Auger** بوضع عدادين على ارتفاعات جبال الألب تفصل بينهما 300m فلاحظ أنهما يرصدان جسيمات آتية في نفس الوقت على شكل شلالات ناتجة عن تصادم جسيمات الأشعة الكونية الابتدائية ذات طاقات عالية مع جزيئات الغلاف الجوي، تصل طاقات الجسيمات الابتدائية إلى 10^{15}eV [2].



الشكل (1-2): نتائج قياسات هاس و كولوستر Hess and Kolhorster حول معدل التفريغ الكهربائي بدلالة الارتفاع [17]

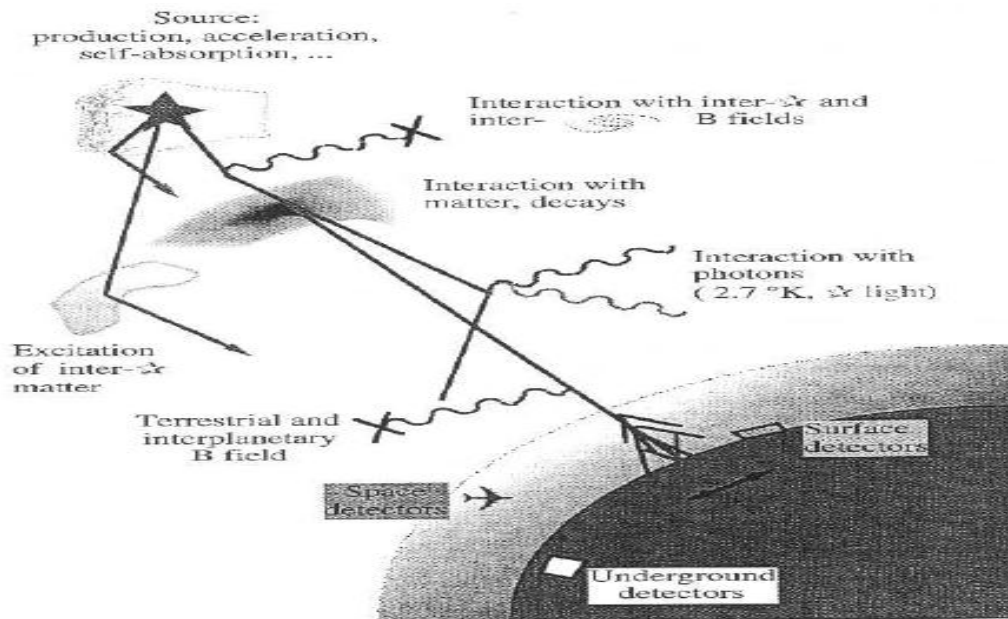


الشكل (1-1): نتائج أعمال فوتزر Pfozter حول معدل التفريغ بدلالة الارتفاع . [17]

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

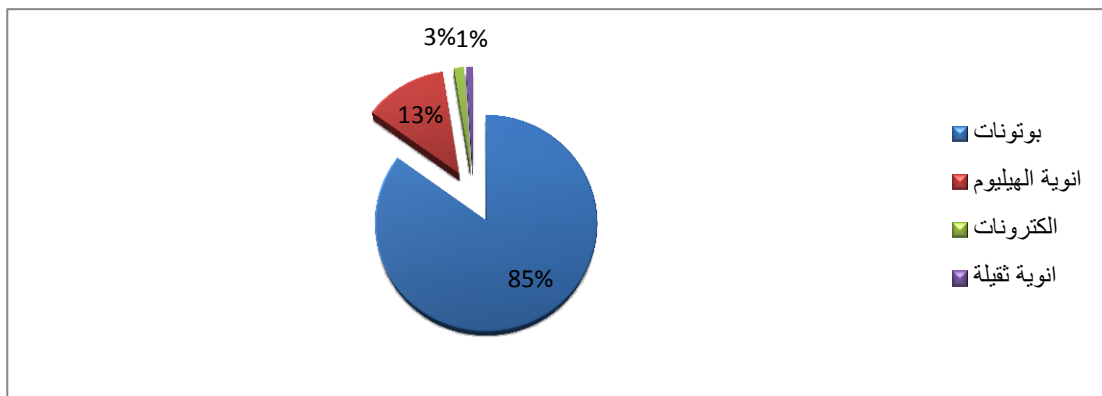
1-3- الأشعة الكونية الابتدائية primary cosmic rays:

تغادر الأشعة الكونية مختلف مصادرها وتنتشر في الكون. نتيجة مرورها عبر الحقول المغناطيسية وكذا الغازات المنتشرة في الفضاء تتأثر فتحدث لها بعض التغيرات تمس ببنييتها وسرعتها وحتى طريقة واتجاه حركتها. فكل الأشعة الكونية التي تصل الى الطبقات العليا من الغلاف الجوي تسمى بالأشعة الكونية الابتدائية.



الشكل(1-3): انتشار و رصد الأشعة الكونية. [17]

تتشكل أساسا من البروتونات بنسبة 85% تليها أنوية الهيليوم بنسبة 12.5% ، وينسب ضعيفة جدا أنوية الذرات الأثقل والإلكترونات والفوتونات، يوجد كذلك البروتونات المضادة **antiprotons**، والبوزيترونات **positrons**.

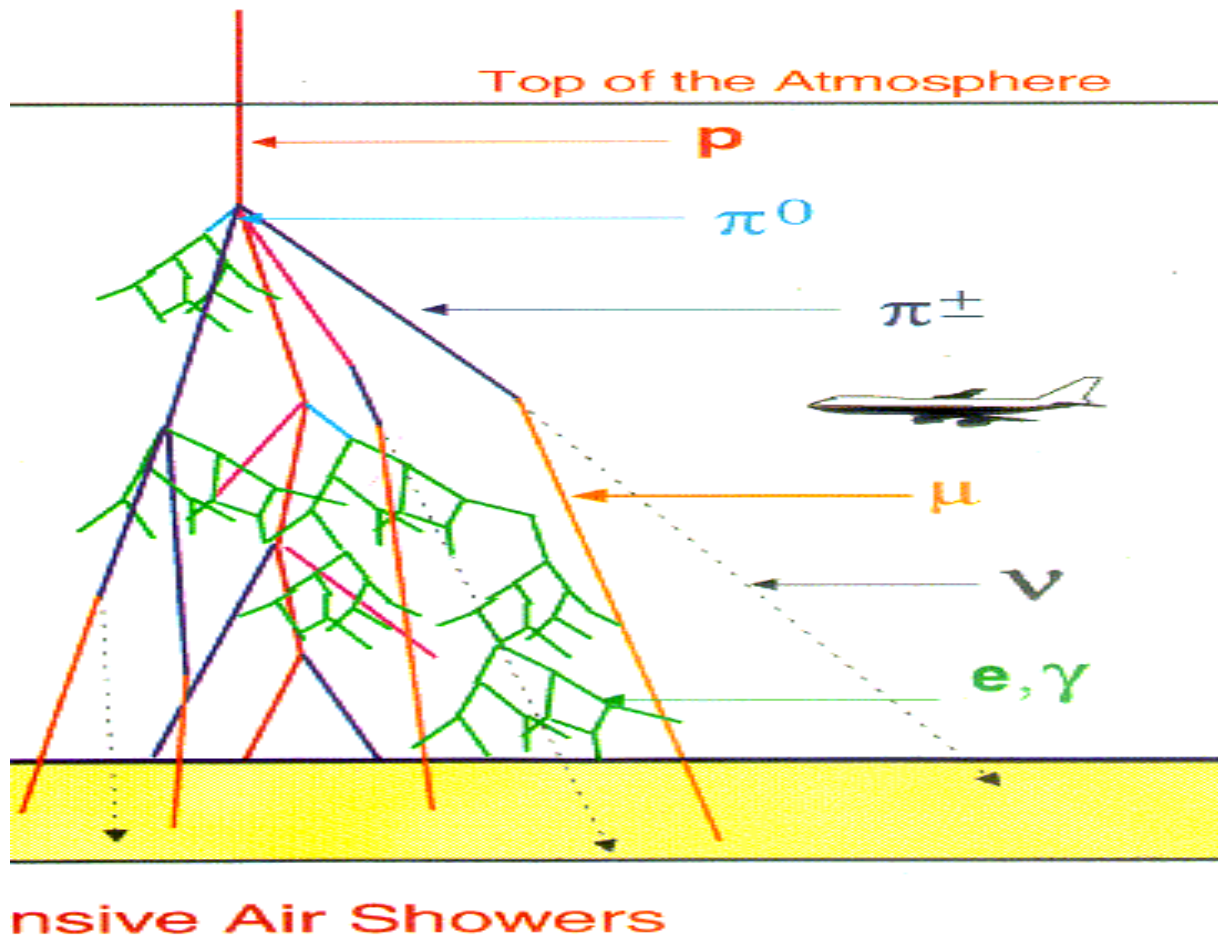


الشكل(1-4): النسبة المئوية لمختلف مكونات الأشعة الكونية الابتدائية.

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

1-4- الأشعة الكونية الثانوية secondary cosmic rays:

تدخل الأشعة الكونية طبقات الغلاف الجوي للكرة الأرضية فتفاعل مع جزيئاته. ينتج عن هذا التفاعل شلالات الأشعة الكونية الثانوية، التي تتكون بدورها من بقايا للأشعة الكونية الابتدائية (البروتونات والالكترونات) وكذا نواتج التفاعل (النيوترونات ، الكاونات ، البيونات ، الميونات ، النيوتريونات و البوزيترونات).



الشكل (1-5): مراحل تشكل الأشعة الكونية الثانوية على مستوى الغلاف الجوي [17].

5-1- الطيف الطاقوي Energy spectra:

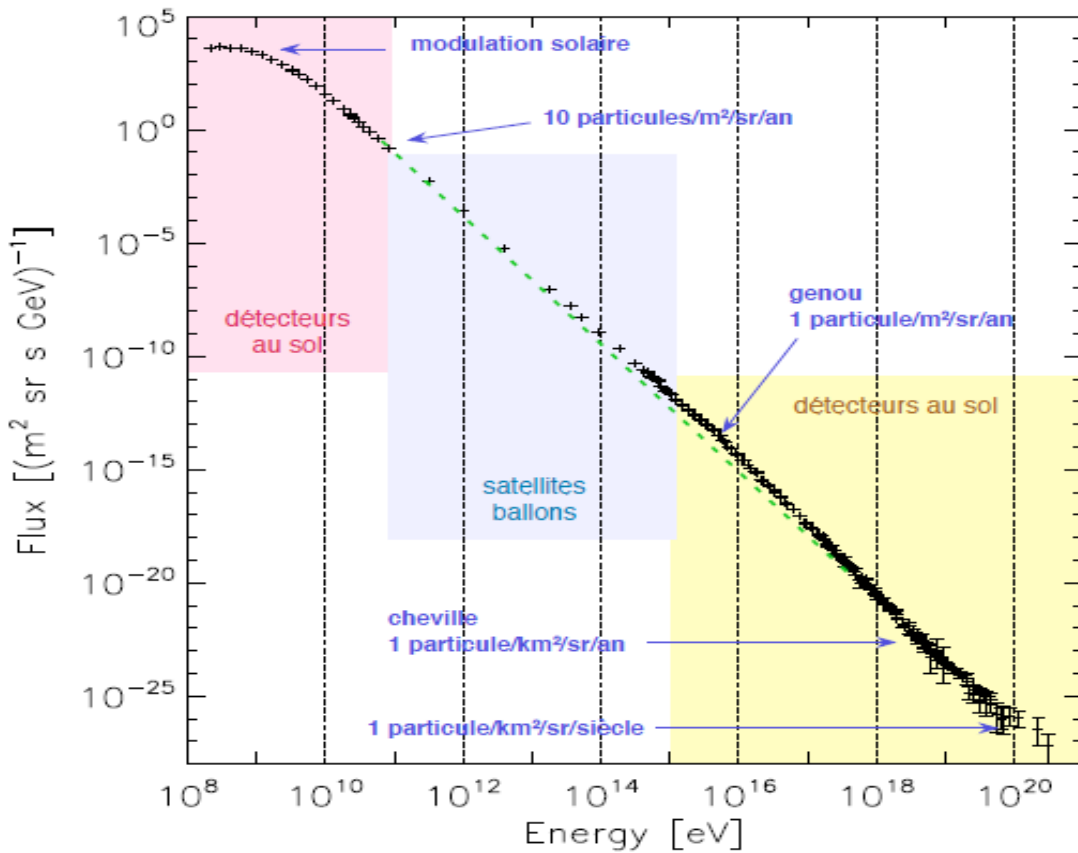
تشكل السلسلة الطاقوية لجسيمات الأشعة الكونية الابتدائية طيفا طاقويا عريضا جدا، إذ تمتد الطاقات المقاسة لهاته الجسيمات على طول المجال $[10^8 - 10^{21}]eV$. نعبّر عن الطيف الطاقوي للأشعة الكونية بواسطة التدفق التفاضلي (وهو عدد الجسيمات التي تملك طاقة تقع في المجال E و $E+dE$) أو بواسطة التدفق التكامل (وهو عدد الجسيمات التي تملك طاقة مقدارها E). يعطى تغير التدفق التفاضلي مع الطاقة وفق العلاقة التالية:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\lambda} \quad (1.1)$$

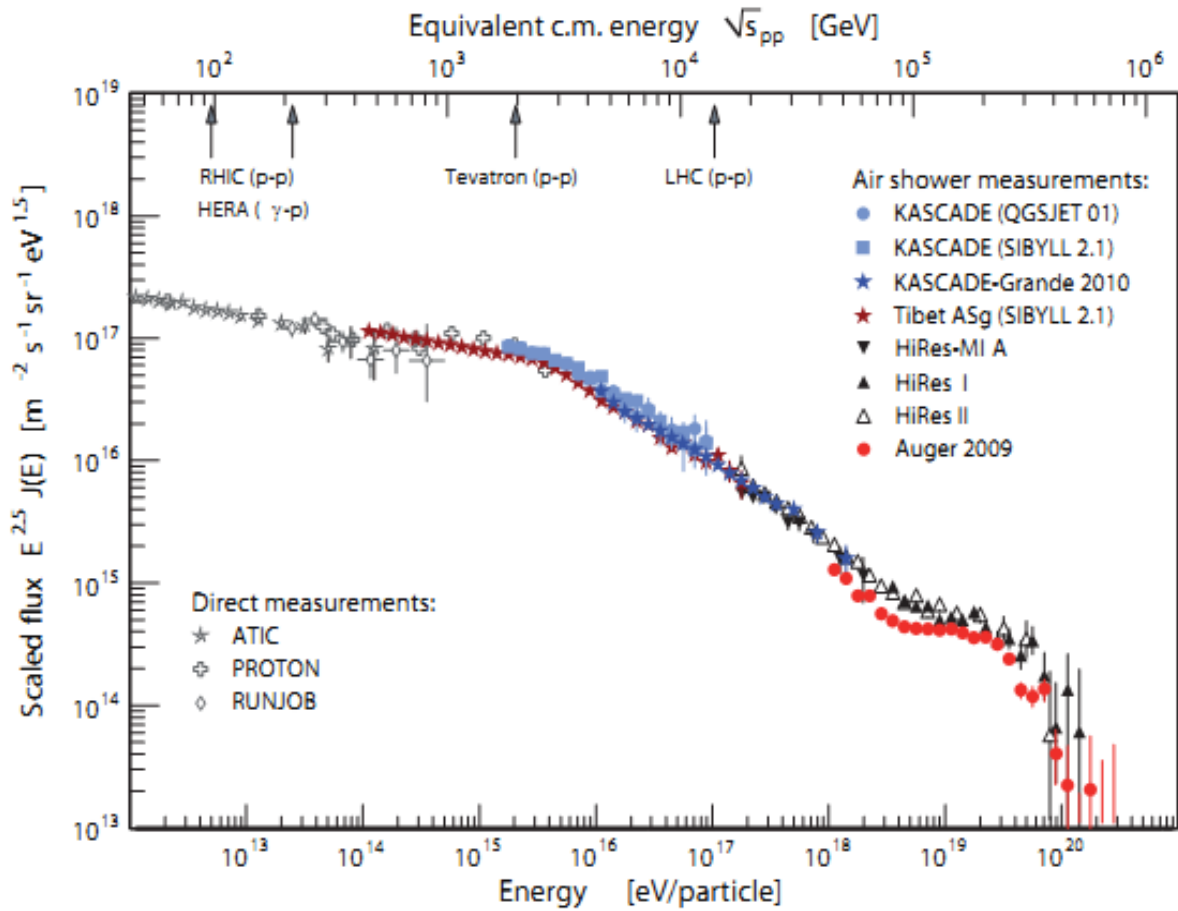
dN : التغير في عدد الجسيمات المتدفقة.

dE : التغير في طاقة الجسيمات المتدفقة.

λ : الدليل الطيفي.



الشكل (1-6): الطيف الطاقوي للأشعة الكونية. [10]



الشكل (1-7): الطيف الطاقي للأشعة الكونية $E^{2.5} \cdot j(E)$ ، يحمل السمات المميزة للطيف: يحصل انحدار في الطيف الطاقي عند $10^{15} eV$. يستوي الطيف عند $10^{18.5} eV$ ، أما فوق $4 \cdot 10^{19} eV$ فتدفق الأشعة الكونية يكاد يكون منعدم والسبب راجع لتأثير القطع GZK. [13]

من خلال الشكل (1-6) يلاحظ أن الطيف الطاقي عبارة عن مخطط منتظم شبه تام، خصوصا الجزء الممتد بين $[10^{10} - 10^{19}] eV$. يمكن تجزئته إلى جزئين:
 - الجزء الأول: ويشمل المجال الطاقي $[10^{10} - 4 \cdot 10^{15}] eV$ ، يأخذ الدليل الطيفي القيمة $\lambda = 2.7$ حيث نجد تغير التدفق التفاضلي مع الطاقة كالتالي:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-2.7} \quad (1.2)$$

جسيمات هذا المجال مصدرها من داخل المجرة (عمليات السوبرنوفات supernovae و النجوم النيوترونية neutron stars)، وما يفسر المعادلة السابقة هو التفاعل الحاصل بين الجسيمات

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

منخفضة الطاقة وتلك المتبقية من الانفجار العظيم. يتم رصد جسيمات هذا المجال بواسطة

الأقمار الصناعية والمناطيد، نظرا لكون التدفق ذو قيمة معتبرة. [12]

- الجزء الثاني: ويشمل المجال الطاقوي $[10^{16} - 4.10^{18}]eV$ ، في هذا المجال يأخذ الدليل

الطيفي القيمة $\lambda = 3.2$ حيث نجد تغير التدفق التفاضلي مع الطاقة كالتالي:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-3.2} \quad (1.3)$$

من الناحية الطاقوية فإن مصدر هذا النوع من الجسيمات من خارج المجرة (اندماج المجرات و الأنوية النشطة للمجرات ANG و انفجارات غاما GRB).

لاحظ ولأول مرة كل من كوليكونوف Kulikov و كريستيانسن Christiansen في عام 1956

وجود انحدار بين الجزئين السابقين على طول المجال الطاقوي $[4.10^{15} - 10^{16}]eV$ ، يسمى

هذا الانحدار بالركبة knee حيث يأخذ الدليل الطيفي القيمة $\lambda = 3$. [14] يتناقص التدفق

التفاضلي بشكل أسرع حيث يتناسب مع الطاقة وفق العلاقة:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-3} \quad (1.4)$$

من المتوقع مستقبلا التغير في تركيبة الطيف الطاقوي خاصة في منطقة الركبة knee [13].

كما جاء تحليل نتائج تجربة CASCADE على وجود انخفاض في تدفق الفوتونات في هذه المنطقة [15].

يقدر التدفق في هذا المجال بحوالي جسيم واحد لكل متر مربع في السنة الواحدة [16].

أما الجزء المتبقي من مخطط الطيف الطاقوي التفاضلي فإن المجال الذي يشمل الطاقات الأقل

من $10Gev^*$ ، نجد من بين جسيمات هذا المجال الالكترونات والنيوترونات التي تأتي من

الشمس نتاج الاندماج النووي الحراري الحاصل [10,6].

المجال الاخير الذي يخص الجسيمات فائقة الطاقة الأكبر $5.10^{18} eV$ ، هو بداية تناقص

الانحدار الحاصل في مخطط الطيف الطاقوي في منطقة الركبة knee. تسمى هذه المنطقة

* $1TeV=10^{12}ev$, $1Pev=10^{15}ev$, $1Eev=10^{18}ev$

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

بالكاحل cheville يتغير التدفق التفاضلي و تتباطأ سرعة التناقص على عكس ما يحدث عند الركبة. يقدر عدد الجسيمات المتدفق بجسم واحد لكل كيلومتر مربع خلال قرن. [2] من خلال انجاز مشروع JEM-EUSO (جيل جديد من أجهزة الكشف عن اشعاعات الفلورة fluorescence)، يمكن زيادة الإحصاءات (عدد الجسيمات المرصودة) التي نأمل أن توفر جوابا على طبيعة أصل الأشعة الكونية. [13]

1-6- مصادر الأشعة الكونية Sources of cosmic rays:

تتعدد مصادر الأشعة الكونية على حسب الطاقات التي تصل بها الكرة الأرضية، بالنسبة للجسيمات ذات الطاقات الأقل من 4.10^{15}eV فهي صادرة من الأجرام الموجودة داخل المجرة، أما بالنسبة للجسيمات ذات الطاقات الفائقة تعتبر لغز من ناحية مصدرها وحتى من ناحية وجود آليات فيزيائية قادرة على إيصالها إلى ذلك القدر الهائل من الطاقة، حاليا نجد نموذجين يمكنهما شرح مصدر هذه الأشعة الكونية فائقة الطاقة:

- *bottom-up*: يمكن لهذا النموذج التمييز بين المصادر الرئيسية للجسيمات أو المصدر الذي يمكنه اكساب هذه الجسيمات طاقات إضافية، ومن المحتمل ان تكون مصادر الأشعة الكونية هي نفسها مواقع التسريع.

- *top-down*: يعتبر هذا النموذج أحد النماذج التي تدعم نظرية الانفجار العظيم **big bang** هذا الأخير الذي أنتج لنا جسيمات عالية الكتلة عمرها من عمر الكون، التي بدورها يمكن أن تتفكك منتجة جسيمات ذات طاقات عالية (الأشعة الكونية فائقة الطاقة) [9].

فمن خلال النموذج الاول يمكن طرح عديد المواقع في الكون يمكن أن تكون مصادر وفي نفس الوقت مواقع لتسريع جسيمات الأشعة الكونية.

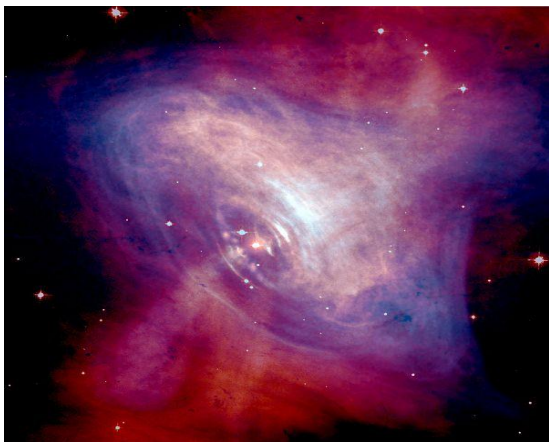
الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

1-6-1- المستعرات العظمى Supernovae:

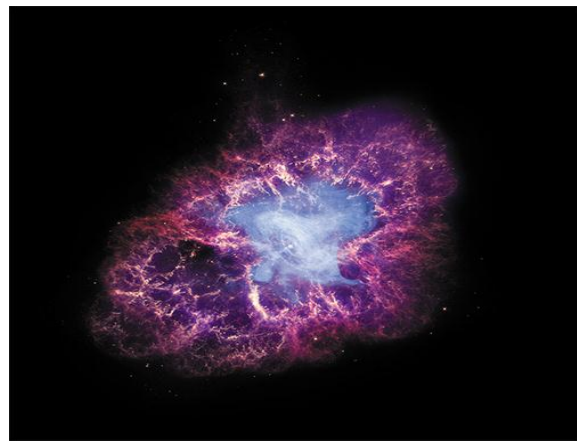
من المحتمل انهيار النجوم التي تزيد كتلتها بـ 8 أضعاف كتلة الشمس بعد استنفاده كامل وقوده الهيدروجيني بفعل الاندماج النووي الحاصل وتشكل الذرات الأثقل من الهيدروجين مثل: (He, C, Ne, ...) وصولاً إلى تشكل القلب من أنوية ذرات الحديد (Fe)، ليصل بذلك النجم إلى الكتلة الحرجة، وبفضل الجاذبية التي يطبقها النجم نحو مركزه يتولد لنا ضغط ودرجة حرارة هائلين فينهار النجم مولداً حركة اهتزازية قوية في الوسط البين نجمي، ونتج الانفجار يكمن في فعلين رئيسيين: الفعل الأول اصدار أشعة كونية فائقة الطاقة أما الفعل الثاني فهو تسريع الجسيمات المشحونة بفعل موجة الصدم وفق آلية فارمي Fermi.

1-6-2- النجوم النابضة Pulsars:

النجم النابض هو عبارة عن نجم نيتروني يبلغ نصف قطره ($R=10\text{km}$) وذو كثافة عالية يدور حول نفسه بسرعة فائقة وحقل مغناطيسي أكبر بـ 100 مرة بالنسبة للمستعر الأعظم، يمكن لهذا النجم النابض تسريع أنوية الحديد (Fe) بحيث تفوق طاقاتها 10^{20}eV مما يسمح لها بالمرور بين بقايا المستعر الأعظم بدون وجود أي ردود فعل. [5]



الشكل (1-9): صورة للنجم النابض



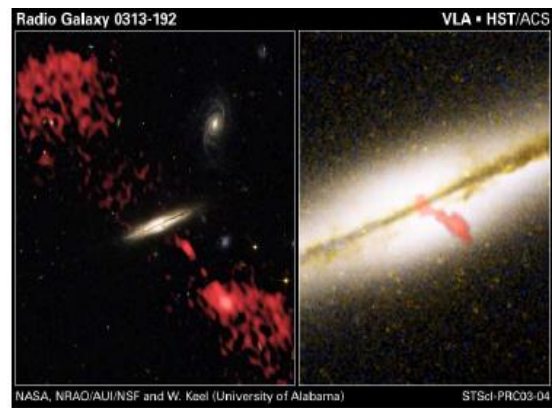
الشكل (1-8): سديم السرطان: بقايا مستعر أعظم يتخلله نجم نابض

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

1-6-3- الأنوية المجرية النشطة Active galactic nuclei:

توجد الأنوية النشطة في المجرات الموجودة. في حالة وجود نجم كتلته تزيد عن 10^{10} مرة من كتلة الشمس مما يخلق لنا الثقب الأسود محاط بترامكات تتمثل في مواد و بلازما تدور حوله بشكل سريع، مما يؤدي إلى خلق نفثتان (jets) متعاكستين في الاتجاه على طول محور الدوران. تقوم هذه الأخيرة بإرسال إشعاعات على طول الطيف الضوئي (الأشعة فوق الحمراء

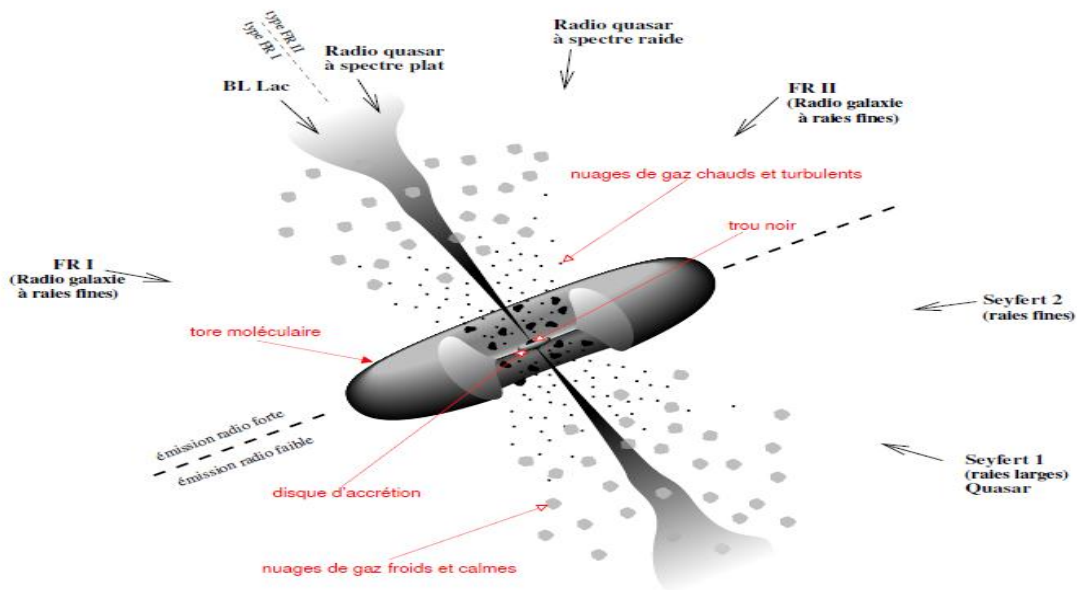
– الأشعة السينية) بالإضافة إلى أشعة غاما. [11]



الشكل (1-11): مجرة نشطة

الشكل (1-10): مجرة نشطة راديوية

يمكن اعتبار الأنوية المجرية كمصدر للأشعة الكونية وزد على ذلك فهي من أهم مواقع التسريع حيث تسرع البروتونات إلى طاقات عالية تصل إلى 10^{21} eV. [11،5]



الشكل (1-12): يمثل مختلف أنواع الأنوية المجرية النشطة [17]

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

1-6-4- انفجارات غاما Gamma explosions :

هي انفجارات ذو طاقات عالية في ظرف زمني صغير من رتبة 10^3 جزء من الثانية، تحدث على مستوى المجرات البعيدة وسبب هذه الانفجارات يكمن في تكوّن ضغط عظيم على مستوى أجرام صغيرة جدا.

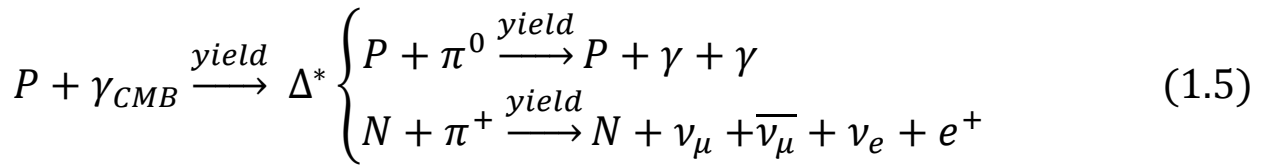
تعتبر انفجارات غاما من أعظم مصادر الطاقة في الكون، فيمكن تفسير بعض الملاحظات من الناحية النظرية بنموذج الكرة النارية(مكونة أساسا من بلازما: الفوتونات ، الالكترونات والبوزيترونات) فعند توسع انفجارها يسمح ذلك بتسريع الجسيمات المشحونة في الموجات الاهتزازية. يُنتج لنا إشعاع synchrotron نتيجة وجود حقل مغناطيسي كبير، وهذا ما جعل العلماء يتوقعون أنها مصدر جسيمات الأشعة الكونية فائقة الطاقة. [5]



الشكل(1-13): رسم في لتوضيح انفجار أشعة جاما يحدث في نجم ضخم. تنطلق الطاقة الناجمة عن الانفجار أحيانا في نفاثتين متضادتين عبر محور الدوران.

7-1- ظاهرة القطع GZK:

في عام 1966 تنبأ كل من Geisen و Zatspin و Kuzmin أن الانخفاض الحاصل في تدفق جسيمات الأشعة الكونية على مستوى الكاحل cheville يعود الى تفاعل الأشعة الكونية مع فوتونات الاشعاع الخلفية الكونية CMB حيث أطلق على هذه الظاهرة اسم القطع GZK. بالرغم أنه توجد مصادر قادرة على انتاج بروتونات ذات طاقات فائقة تصل $10^{21} eV$ ، إلا أن تفاعلها مع اشعاع الخلفية الكونية يؤدي الى انخفاض طاقتها على طول مسار يصل الى $50M pc^*$ وبالتالي تصل الى الكرة الأرضية بطاقات تقل عن $10^{20} eV$. كالتالي [18،2]:



اظهرت الدراسات الاخيرة زيادة قيمة الدليل الطيفي λ وهو ما يتناسب مع تأثير القطع GZK، لكن لا يزال التأكد من أن سببه تأثير القطع GZK أو من الممكن أن آليات التسريع خمدت وانتهت [19].

* Mpc : Mégaparsec : $1Mpc=3,85 \cdot 10^{16}m=3,2616 \text{ Light year}$: وحدة لقياس الأطوال الفلكية تقدر بالمتر حيث

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

1-8- آليات تسريع جسيمات الأشعة الكونية:

من أجل معرفة الآليات (مواقع التسريع) الفيزيائية التي تقوم بتسريع جسيمات الأشعة الكونية وإيصالها إلى جسيمات فائقة الطاقة تصل إلى غاية 10^{21}eV نجد آليتين من ناحية طريقة التسريع :

1-8-1- الطريقة المباشرة **Direct acceleration** : هذه الطريقة تعتمد على آلية

التسريع بالحقول الكهرطيسية (الحقول الكهربائية المحرصة). بما أننا بصدد دراسة الجسيمات فائقة الطاقة فإن التسريع بالحقول الكهربائية أمر مستبعد كونه لا يمكن تسريع الجسيمات وإيصالها إلى طاقة من رتبة 10^{20}eV لعدم توفر أجرام بها فرق في الكمون بالقدر الكافي [4]، غير أن توفر الحقول المغناطيسية في جميع نطاق الكون تقريبا يعطينا آلية التسريع بالحقول الكهربائي المحرصة يبقى أمر واقعي ويحقق النتيجة المرجوة، فيمكن لأي جسيمة شحنتها (Ze) تتحرك مسافة (L) في نطاق آلية فيزيائية (جسم فلكي) نصف قطره المعبر عنه بنصف قطر لارمور (r_L) Larmor ذو حقل مغناطيسي شدته (B) فإنها تكتسب طاقة عظمى E_{max} تعطى بالعلاقة:

$$E_{max} = \Gamma \cdot Z_e \cdot B \cdot L \quad (1.6)$$

حيث Γ معامل لورنتز يعطى بالعلاقة $\Gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ ، $\beta = \frac{v}{c}$ ، B شدة الحقل المغناطيسي وحدته G (غوص)، Z_e شحنة الجسيمة وحدتها هي eV . L المسافة التي تنتقلها الجسيمة المشحونة أو طول الجرم. [2]

وكمثال معياري لا يمكننا جهل أن حركة جسيمة مشحونة داخل حقل مغناطيسي متجانس تكون على شكل حلزوني ذو نصف قطر يعبر عنه بنصف قطر لارمور (r_L) الذي يعطى بالشكل:

$$r_L = \frac{\sqrt{mT}}{qB} = \frac{mV}{qB} \quad (1.7)$$

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

حيث q شحنة الجسيمة ، m كتلتها، V سرعتها، T طاقتها الحركية [2].
ومنه يمكن إيجاد التردد الزاوي (تردد لارمور Larmor) لحركة الجسيمة كالتالي:

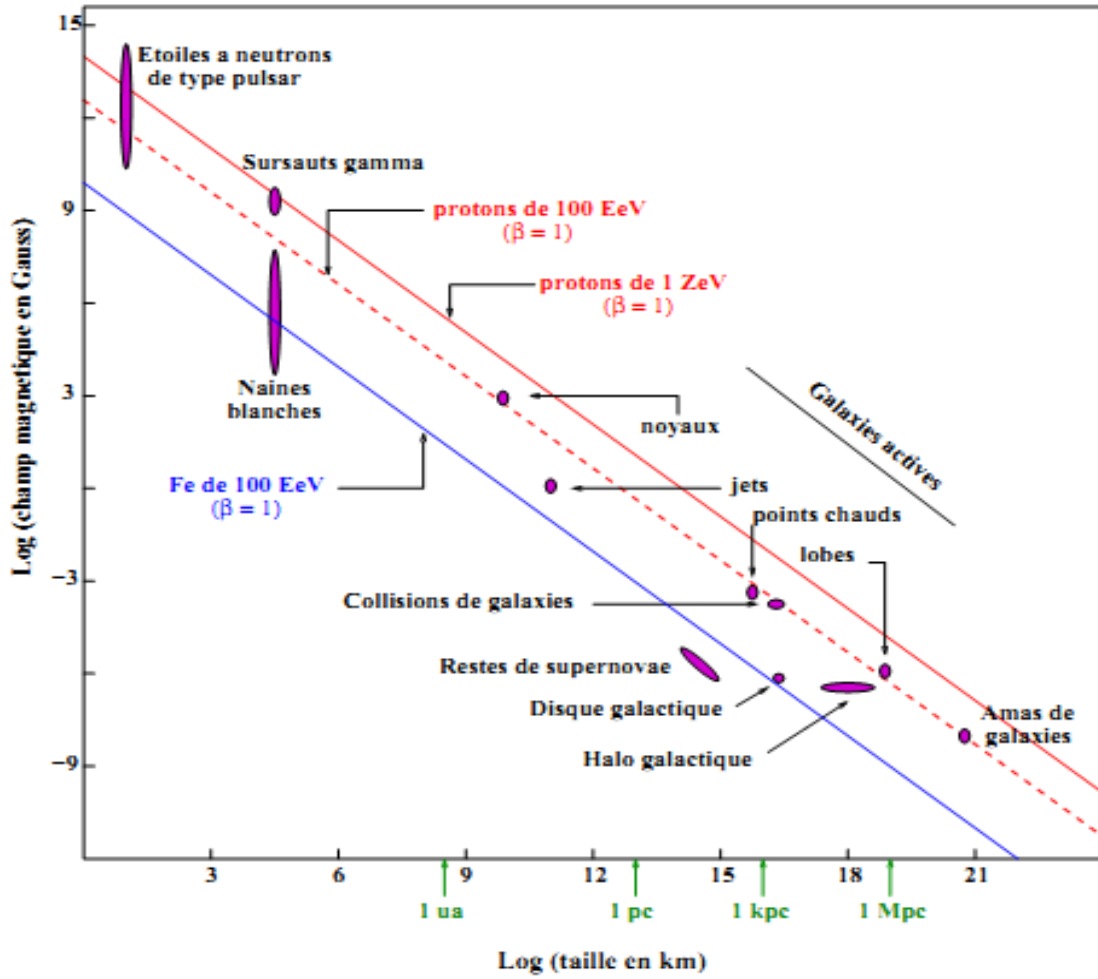
$$w_L = \frac{qB}{m} \quad (1.8)$$

في حال تساوي هذا التردد الزاوي لحركة الجسيمة مع التردد الزاوي للحقل الكهربائي المطبق من طرف الجرم. يحدث تجاوز يزيد في نصف قطر لارمور Larmor مؤديا الى زيادة السرعة والطاقة الحركي للجسيمة ، وتسمى هذه الظاهرة بالتجاوب السيكلوتروني.

فمن أهم المصادر التي تسرع الجسيمات بالحقول الكهرومغناطيسية (الحقول الكهربائية المحرصة بواسطة حقول مغناطيسية) نجد النجوم النابضة والنجوم النيترونية وانفجارات غاما. أما فيما يخص النجم النيتروني فإن سرعة دورانه حول نفسه يؤدي الى توليد حقل كهربائي عالي الشدة وبوجود حقل مغناطيسي شديد القوى يؤدي الى تسريع الجسيمات المشحونة إلى غاية 10^{19}ev . عند توفر نجم نيتروني ذو سرعة دوران كبيرة جدا وفي وجود حقل مغناطيسي يصل الى 10^{13}G فإنه قادر على تسريع أنوية الحديد إلى طاقة تبلغ 10^{21}ev .

لكن الصعوبة التي تواجه آلية التسريع بالحقول الكهرومغناطيسية هي عدم قدرتها على تفسير

$$\text{الطابع الأسي للطيف الطاقوي التفاضلي: } \frac{dN}{dE} \propto E^{-\lambda} \text{ [2].}$$



الشكل(14-1):مخطط هيلاس Hellas :يمثل مواقع تسريع ومصادر الجسيمات الأولية عالية الطاقة مدرجة حسب حجمها والحقل المغناطيسي التي تؤثر به.[2]

1-8-2- الطريقة الغير مباشرة Indirect accélération : كما يمكن تسميتها بآلية

فارمي Fermi المقترح عام 1949 والتي تعتمد على فكرة أن التفاعل مع الحقول المغناطيسية يكسب الجسيمات طاقة إضافية تساهم في تسريعها فنجد نموذجين لهذه الآلية:

1-2-8-1- نموذج فارمي Fermi الأول: اعتمد فارمي Fermi في هذا النموذج على آلية

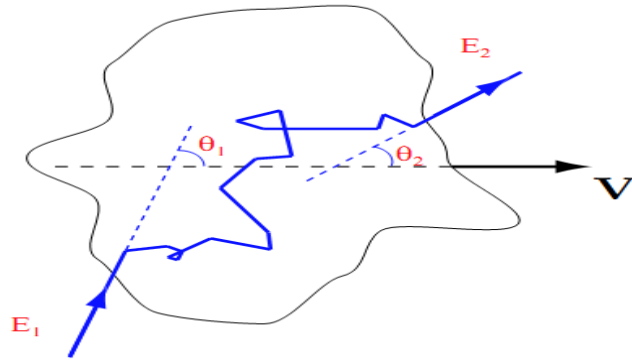
التسريع من الرتبة الثانية $\left[\left(\frac{u}{v}\right)^2\right]$. من المعلوم أن السحب المغناطيسية الموجودة في الوسط البين- نجمي تتحرك بسرعة (u) فعند مرور جسيمات مشحونة في هذا الوسط تتحرك بسرعة (v) وتملك طاقة حركية معينة، مما يخلق لنا تبادل في الطاقة (جسيمة مشحونة- سحابة مغناطيسية)، فمن أجل اكتساب كبير للطاقة لابد أن تقوم الجسيمات المشحونة بأكثر عدد

الفصل الأول _____ الأشعة الكونية فائقة الطاقة العالية

ممكن من الاصطدامات مع الانحناءات الذي تشكلها السحب المغناطيسية، تكتب هذه الطاقة المكتسبة بالعلاقة [1] :

$$\left\langle \frac{\Delta E}{E} \right\rangle = \frac{4}{3} \beta^2 \quad (1.10)$$

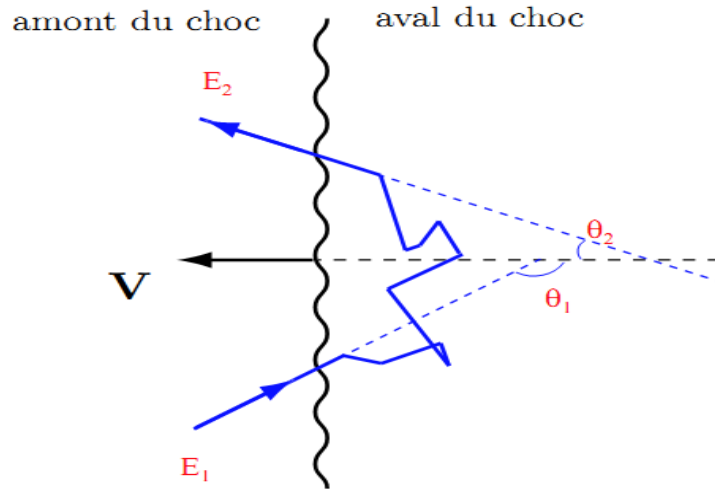
حيث $\beta = u/v$ النسبة بين سرعة السحابة الكهرومغناطيسية وسرعة الجسيمة.



الشكل (1-15): رسم يمثل اصطدام الجسيمة المشحونة مع السحابة المغناطيسية. [9]

1-8-2-2- نموذج فارمي Fermi الثاني: جاء هذا النموذج من أجل تحسين النموذج الأول، فقد اعتمد فيه فارمي Fermi على آلية التسريع من الرتبة الأولى، حيث يعتمد على فكرة التصادم بين الجسيمات وجبهة الصدمة، تحدث موجة الصدمة بسرعة (V_s) الشكل (1-15) عندما تتحرك المادة في وسط ما بسرعة (V_p) تفوق سرعة الصوت (V_{son}) في ذلك الوسط. حيث تعطى علاقة الطاقة المكتسبة من موجات الصدمة في هذا النموذج بالعبارة التالية [9, 17, 8]:

$$\left\langle \frac{\Delta E}{E} \right\rangle = \frac{4}{3} \beta \quad (1.11)$$



الشكل (16-1): يمثل موجة الصدمة بسرعة (V_S) عندما تتحرك المادة في وسط ما بسرعة (V_P) تفوق سرعة الصوت (V_{son}) في ذلك الوسط. [9]

هذا النموذج يمكنه تفسير الطابع الأسي للطيف الطاقوي التفاضلي، كما يمكنه تمكين الجسيمات من بلوغ طاقة قدرها $10^{14} eV$. [8,1]

الفصل الثاني

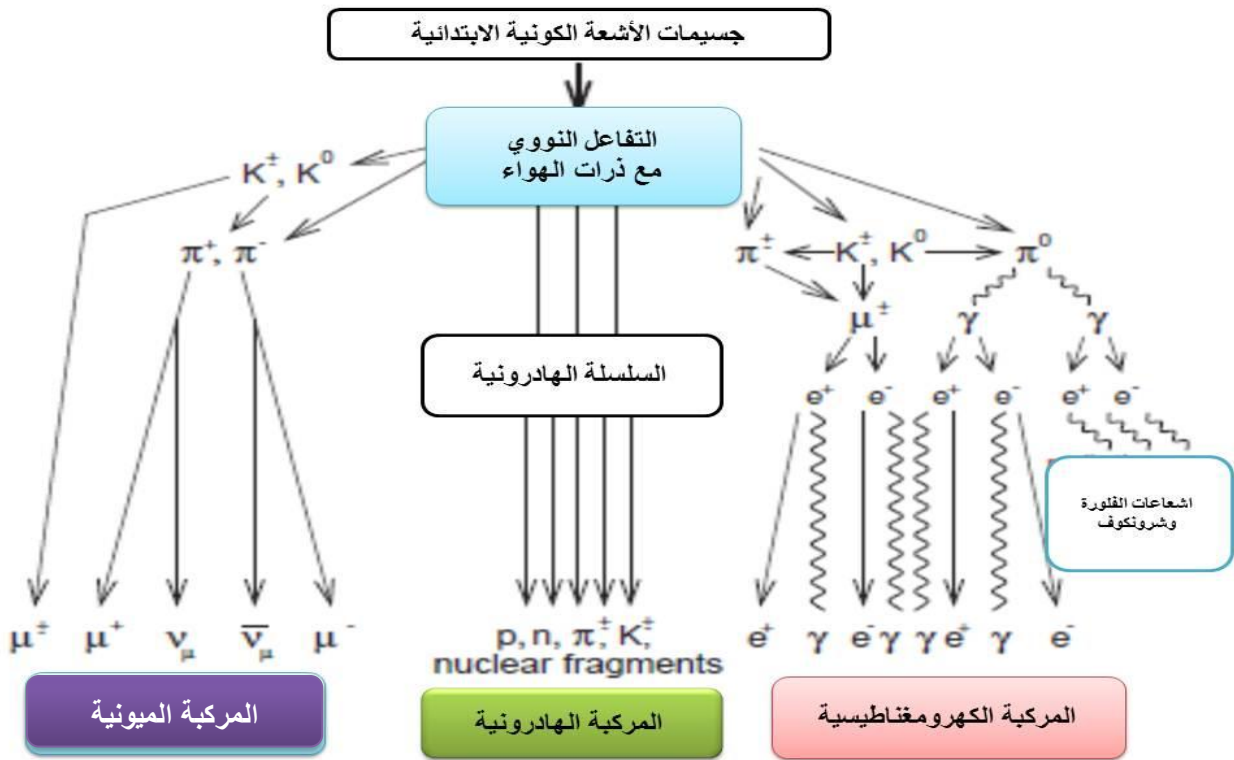
الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

Chapter II

Air Showers – Telescope JEM-EUSO

2-1- الشلالات الهوائية Air Showers:

عندما تصطدم الجسيمات عالية الطاقة الآتية من الكون بالطبقات العليا للغلاف الجوي للكرة الأرضية. هذا الاصطدام يؤدي إلى تحطم ذرات الهواء حيث يتبع التصادم الأول مجموعة من التصادمات والتفككات ينتج على إثرها كم هائل من الجسيمات الثانوية. تأخذ هذه الجسيمات الثانوية أثناء انتشارها في الغلاف الجوي للكرة الأرضية شكل يشبه إلى حد قريب الشلالات الهوائية Air Showers [5]. الكثافة و البنية التركيبية للغلاف الجوي المكون من 78% غاز الأزوت و 20% غاز الأكسجين مع وجود نسب ضئيلة جدا لغازات أخرى، تؤثر على البنية التركيبية للشلالات الهوائية، حيث نجد ثلاث مركبات داخل الشلال الهوائي:



الشكل (2-1): مخطط تفصيلي يوضح البنية التركيبية للشلال الهوائي بعد تفاعله مع جزيئات الهواء

2-1-1- المركبة الهادرونية: تتمثل في السلاسل الناتجة عن تفاعل البروتونات أو الأنوية مع جزيئات الهواء. تتواجد الهادرونات في قلب الشلال ونجد منها البيونات π^+, π^0, π^- والكاونات

الفصل الثاني ————— الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

K^+, K^0, K^- . مدة حياة البيونات π^0 قصيرة جدا يمكنها التفكك إلى 2γ . تتفاعل هذه الفوتونات الناتجة مع الأنوية لتتشكل الزوج e^+e^- وفق المعادلات التالية:

$$\begin{cases} \pi^0 \longrightarrow \gamma + \gamma \\ \gamma \longrightarrow e^+ + e^- \end{cases}$$

الأزواج e^+e^- عن طريق ظاهرة الكبح تصدر أشعة كهرومغناطيسية تتمثل في اشعاعات الفلورة Fluorescence واشعاعات شرينكوف Čerenkov [5].

تتفاعل البيونات π^\pm الى أن تبلغ طاقة حرجة تتفكك على اثرها الى مينوات μ^\pm ونيوترينوات ν وفق المعادلة التالية:

$$\pi^\pm \longrightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$$

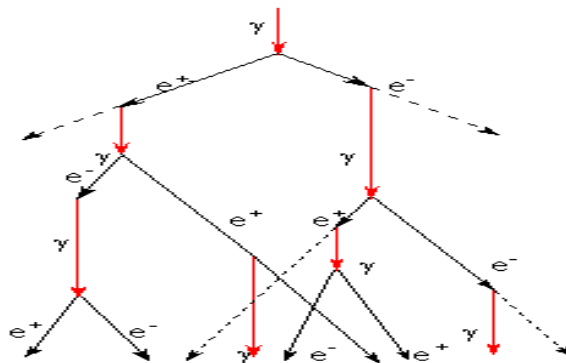
يمكن الاستنتاج من خلال التفاعلات الحاصلة مع المركبة الهادرونية على انها تتركب بدورها من ثلاث مركبات: المركبة الهادرونية والميونية والكهرومغناطيسية.

2-1-2- المركبة الكهرومغناطيسية: تتمثل في جسيمات خفيفة ذات طاقات عالية مثل

الفوتونات γ والالكترونات e^- والبوزيترونات e^+ ، خلال طول مسار الشلال الهوائي تحدث عدة ظواهر فيزيائية لجسيمات هذه المركبة الكهرومغناطيسية أهمها انتاج الزوج e^+e^- ، اشعاع

الكبح وكذلك مفعول كومبتون Compton [2].

يعتبر اشعاع الكبح ظاهرة أساسية تساهم بشكل كبير في الحصول على المعلومات حول جسيمات الأشعة الكونية الابتدائية، اذ تنتج عنه أشعة كهرومغناطيسية وكذا فوتونات عالية الطاقة، يعتبر الالكترونات والبوزترونات أكثر الجسيمات المشحونة التي ينتج عنها اشعاع الكبح.



الشكل (2-2): السلسلة الكهرومغناطيسية. [2]

الجسيمات المكونة للمركبة الكهرومغناطيسية يمكن ملاحظتها في المركبة الهادرونية بشكل ثانوي وفي المركبة الكهرومغناطيسية بشكر رئيسي، هذا ما يؤدي بنا الى استنتاج أن الشلالات الهوائية تحتوي على كم هائل من الجسيمات الكهرومغناطيسية وخاصة الالكترونات والبوزيترونات.

2-1-3- المركبة الميونية: تنتج جسيمات هذه المركبة انطلاقا من تحلل

البيونات π^+ , π^0 , π^- والكاونات K^+ , K^0 , K^- ، فأهم جسيماتها μ^\pm , ν_μ . [17، 2]

2-2- رصد الشلالات الهوائية Air Showres Detection:

يتم رصد الأشعة الكونية لأجل التعرف طبيعتها على ومصدرها، فالرصد يكون بطريقة مباشرة للأشعة الكونية الابتدائية وطريقة غير مباشر حيث تتم برصد الشلالات الهوائية، يمكن شرح الطريقتين كالتالي:

2-2-1-الرصد المباشر:

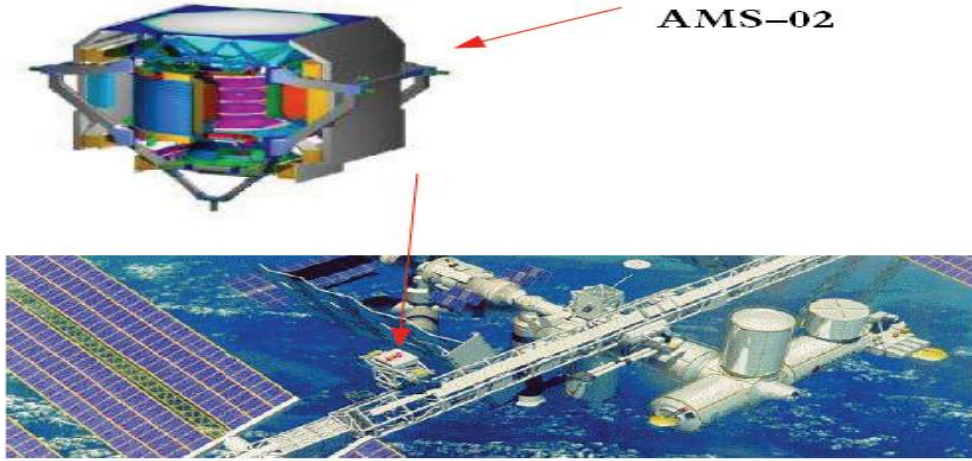
تتم هذه الطريقة على ارتفاعات معتبرة كقمم الجبال، المناطق، المركبات الفضائية والأقمار الصناعية. تتعامل أجهزة الرصد مباشرة مع الأشعة الكونية الأولية، لكن عيب هذه الطريقة عدم القدرة على استعمال أجهزة كبيرة الحجم وكذلك عدم قدرتها على الاستمرار مدة زمنية طويلة وبالتالي لا يمكنها رصد الجسيمات عالية الطاقة $E > 1TeV$ لأنها تأتي بمعدلات ضعيفة جدا تساهم هذه الطريقة بشكل كبير في قياس عديد المقادير الفيزيائية لهذه الجسيمات والمتمثلة في الطاقة و السرعة لأجل تحديد طبيعتها ومصدرها.

معظم هاته الأجهزة يتكون من مجموعة أساسية من الكواشف الجسيمات مثل: جهاز تحديد المسار، جهاز قياس زمن الطيران والمطياف المغناطيسي. [17]

تستخدم عمليات الرصد المباشر لصنف معين من جسيمات الأشعة الكونية، حيث يمكننا تميز ثلاث أنواع لذلك: رصد الجسيمات المشحونة (تجربة AMS2 الموجود على متن المحطة

الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

الفضائية الدولية ISS). رصد الإشعاعات الكهرومغناطيسية مثل الأشعة "γ" والأشعة X وكذا رصد النيترونات فقد أقيمت عديد التجارب لذلك مثل: GLAST، AGILE، EGRET



الشكل (2-3): صورة للجهاز AMS02 على متن المحطة الفضائية الدولية ISS. [17]

2-2-1- الرصد الغير مباشر:

يختص هذا النوع من طرق الرصد برصد الجسيمات ذات الطاقة $E > 1 \text{ TeV}$ ، لكن الجسيمات بهذا القدر الهائل من الطاقة تمتاز بضعف تدفقها وبالتالي تحتاج الى أجهزة يمكنها البقاء لمدة طويلة وكذا تغطيتها لمساحات واسعة وهذا لا يتحقق إلا في المحطات الأرضية، مما يعني أن الرصد لا يكون للجسيمات الابتدائية وإنما يتم رصد الجسيمات الثانوية الناتجة عن تفاعل الجسيمات الأولية مع الغلاف الجوي للكرة الأرضية.

تشكل لنا الجسيمات الثانوية شلالات هوائية داخل الغلاف الجوي، فأتثناء تطوره داخل الغلاف الجوي يترك آثار يمكن رصدها مثل: ضوء الفلورة Fluorescence light و ضوء شيرونكوف Cherenkov light . الشيء الايجابي في هذه الطريقة أنها تمكننا من رصد جسيمات لأشعة كونية فائقة الطاقة تصل الى 10^{21} eV . [17]

الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

ومن أهم محطات الرصد بالطريقة الغير مباشرة نجد: المحطة اليابانية AGASA، المحطة

الامريكية HiRes، المحطة الارجنطينية .Piere-Auger.[2]

كما لا ننسى مشروع JEM-EUSO الجيل الجديد من الكواشف المقرر بداية عمله في

2017، حيث ينتظر منه الكثير لأجل زيادة احصاءات الاشعة الكونية من اجل تفسير عديد

الأمور الغامضة مثل: الطابع الأسي للتدفق التفاضلي للجسيمات فائقة الطاقة وكذا ازالة

الغموض حول القطع GZK.[13]

2-3- إنتاج الفوتونات من خلال تطور الشلالات الهوائية:

خلال تطور الشلال الهوائي داخل الغلاف الجوي تنبعث عدة أشعة كهرومغناطيسية، يتراوح

طيفها بين الأشعة الراديوية والأشعة فوق بنفسجية UV ، تنبعث هذا الفوتونات من خلال إثارة

جسيمات الشلال الهوائي لجزيئات النيتروجية N ، أو مرور بعض الجسيمات في وسط معين،

تفوق سرعته سرعة الضوء في ذلك الوسط.

2-3-1- ضوء الفلورة Fluorescence light:

يمكن لجسيمات الشلال الهوائي المتوزع على نطاق واسع أن تتفاعل مع مكونات الغلاف

الجوي، حيث تقوم بإثارة جزيئات النيتروجين N (أي تصبح ذرات النيتروجين غير مستقرة)،

فعند عودة هذه الذرات إلى حالة الاستقرار تصدر ضوء يسمى بالفلورة الأزوتية

Fluorescence في كل الاتجاهات وبشكل متساوي. هذا الأخير يتم على ارتفاع 10 كلم إلى

50 كلم من مستوى سطح الأرض أي على مستوى منطقة من الغلاف الجوي تدعى

بـ: **stratosphère** ، يكون الطول الموجي لهذا الضوء من رتبة الأشعة فوق البنفسجية

UV أي داخل النطاق الموجي (300nm-400nm). إنتاج إشعاع الفلورة Fluorescence

light يمكن شرحه من خلال نموذجين من النماذج الرئيسية[5]:

2-1-3-1-1- نموذج إيداع الطاقة Energy deposit model:

يستند هذا النموذج على الطاقة المودعة (المحفوظة) في الغلاف الجوي على طول مسافة قدرها

" dl "، كما يمكننا حساب الإنتاج الفوتوني وفق العلاقة التالية:

$$\frac{dn_{ph,fluo}^{axis}(l, \lambda_{fluo})}{dl} = \frac{dE}{dX} (X_{slant}) \cdot Y_{fluo}(T, \rho, \lambda_{fluo}) \cdot \left(\frac{dE}{dX}\right)_0^{-1} \quad (2.1)$$

حيث l المسافة التي يتم خلالها تفاعل الجسيمة مع ذرات الآزوت، أما Y_{fluo} تمثل معدل إنتاج الفلورة ونجدها في الفوتونات.

كما يستخدم هذا النموذج في إطار المحاكاة [20]. Auger offline

2-1-3-2- نموذج عدد الإلكترونات Number of electrons model:

بمعرفة عدد الإلكترونات خلال الخطوة " dl " يمكن حساب عدد الفوتونات المنبعثة ذات الأطوال

الموجية " λ_{fluo} " وفق المعادلة التالية:

$$\frac{dn_{ph,fluo}^{axis}(l, \lambda_{fluo})}{dl} = N_e \int \left(\frac{1}{N_e} \frac{dN_e}{dE}\right) \cdot Y_{fluo}(E, \lambda_{fluo}, P, T) \cdot dE \quad (2.2)$$

حيث " N_e " عدد الإلكترونات، الطيف الطاقوي للإلكترونات، " $\frac{dN_e}{dE}$ "

يستخدم هذا النموذج في إطار محاكاة (ESAF) EUSO Simulation and Analysis

(Framework). [21]

2-3-2- ضوء شيرونكوف Cherenkov light:

تملك جسيمات الأشعة الكونية الثانوية سرعات تتجاوز سرعة الضوء في وسط معين فعند

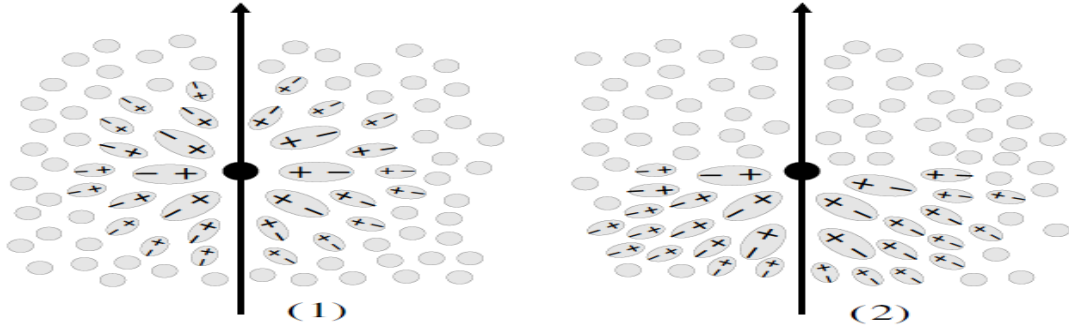
اختراقها للغلاف الجوي فإنها تستقطب جزيئاته محدثة بذلك تشوه في السحابة الإلكترونية هذا

ما يسمح بإصدار أشعة كهرومغناطيسية، فنلاحظ تشكل جبهة أمواج ضوئية تسمى بضوء

شبيرونكوف **Cherenkov light** ينتشر باتجاه وزاوية ثابتة بالنسبة لمسار جسيمات الأشعة الابتدائية، وهذه الزاوية يمكن الحصول عليها و حسابها هندسيا [3]:

$$\cos \theta_c = \frac{1}{\beta n} \quad (2.3)$$

حيث معامل انكسار الوسط ، $\beta = \frac{v}{c}$ النسبة بين سرعة الجسم وسرعة الضوء.



الشكل (2-4): حركة جسم في وسط ذو قرينة n ، عبور جسيمة مشحونة في هذا الوسط في الحالة رقم 1: $v < c/n$ أما في الحالة رقم 2 $v > c/n$ ، في الحالة 2 عدم تناظر الاستقطاب مسؤول عن اصدار ضوء شبيرونكوف [3]

النظرية الكلاسيكية لـ: **Tamm** و **Frank** تعطي عدد الفوتونات المنتجة والمعبر عنها بدلالة الشحنة Z للجزئية والطول الموجي " λ_{ckov} " للضوء الصادر وفق العبارة التالية:

$$\frac{dN_{ph}}{dx d\lambda} = \frac{2\pi\alpha Z^2 \sin^2 \theta_c}{\lambda_{ckov}} \quad (2.4)$$

حيث $\alpha = \frac{1}{137}$ ثابت البنية الدقيق.

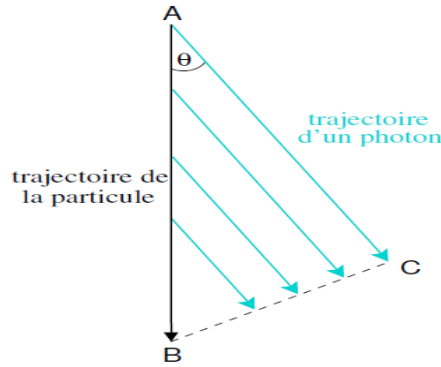
فمن خلال هذه المعادلة يمكن أن نلاحظ أن عدد الفوتونات يتناقص سريعا مع الطول الموجي، ومنه فان أغلب الفوتونات يتم إصدارها في المجال فوق البنفسجية UV، فهذه الملاحظة يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار في اختبارات كواشف الفوتونات، كذلك من المعلوم أن ضوء شبيرونكوف يصدر في الطول الموجي الموافق للأزرق كما هو مشاهد قبلا في المفاعلات النووية. [7]

الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

تتواجد الالكترونات بعدد كبير داخل الشلال الهوائي، حيث نجد تناسب بينها وبين عدد فوتونات شيرنكوف وفق المعادلة التالية:

$$\frac{dn_{ph,Ckov}^{axis}(l, \lambda_{Ckov})}{dl} = Y_{Ckov}(s, \lambda_{Ckov}) \cdot N_{Ckov}^e(X_{slant}) \quad (2.5)$$

حيث Y_{Ckov} هو معدل نواتج أشعة شيرونكوف للإلكترونات ذات الطاقة الأكبر من E_{Ckov} ، يعتمد انبعاث شيرونكوف على شدة الزاوية وأن يكون الانبعاث نحو الأمام جهة الشلال الهوائي. [20]



الشكل (2-5): رسم يمثل الزاوية بين حركة الجسيمات وزاوية انبعاث شعاع شيرونكوف [3]

من خلال معرفة آليات تطور الشلالات الهوائية والكشف عن الضوء المنتج عن طريق تفاعل الجسيمات الثانوية مع الغلاف الجوي، يمكن إعادة بنائه وتركيبه لمعرفة المصادر الرئيسية للأشعة الكونية الابتدائية. [7]

2-4- التليسكوب JEM-EUSO:

التليسكوب JEM-EUSO "Extreme Univers Space Observatory" "المرصد الفضائي للكون البعيد" هو تجربة يابانية بمشاركة دولية على متن المحطة الدولية الفضائية ISS. JEM-EUSO هو نوع جديد من المراصد يمكنه استخدام مساحات واسعة من الغلاف الجوي لغرض الكشف عن طاقات و مصادر الجسيمات الأولية عالية الطاقة، فهذا النوع من التلسكوبات يعتمد على مبدأ مراقبة الفوتونات الناتجة عن تفاعل الأشعة الكونية في الغلاف الجوي. يوضع JEM-EUSO في المحطة الفضائية التي توجد على ارتفاع 400Km ويدور حول الأرض كل 90 دقيقة.

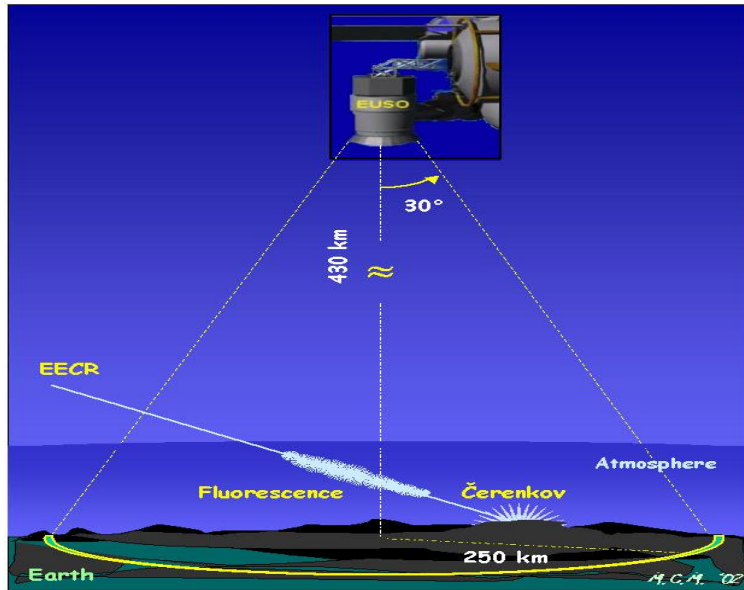
في عام 1979 اقترح ولأول مرة جون لينسي John Linsley مراقبة الغلاف الجوي للأرض من الفضاء، حيث اقترحت عدة مشاريع وتجارب فضائية مثل تجربة OWL "Orbiting Wide-angle Light" ، وعديد التكرارات لفكرة المرصد الفضائي للكون البعيد EUSO، حيث كان مقررا قبلا ومقترحا من طرف الوكالة الفضائية الأوروبية (ESA) تحت اسم ESA-EUSO. كان من المفروض أن يقوم المكوك كولومبيا **The Columbus module** بتركيبه على متن المحطة الفضائية الدولية (ISS) بنجاح في 2004 من وجهة النظر التقنية والعلمية، لكن للأسف وضعت ESA-EUSO قيد الانتظار بعد حادث مكوك الفضاء كولومبيا عام 2003 بسبب أخطاء تقنية أسفرت عن هذا الحادث المأساوي. [28] في 2006 تم إعادة إنشاء وتعريف EUSO من طرف بعثة وكالة استكشاف الفضاء اليابانية (JAXA) ، حيث سيتم إرفاقه بوحدة التجربة اليابانية (JEM) بوحدة نمطية (EF) Exposure Facility (JEM/EF)، ومن ثم القيام بتركيبه على متن مركبة المحطة الفضائية الدولية (ISS)، ويسمى الآن JEM-EUSO. [22]

تسمح مراقبة أشعة الفلورة الأزوتية **fluorescence** واشعاع شيرونكوف **Čerenkov** من الفضاء بإعطاء نتائج وحسابات دقيقة تمكننا من إعادة بناء الشلالات الهوائية من أجل معرفة

الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

طاقات ومصدر الجسيمات الأولية لأن الميزة الإيجابية للتلسكوبات أنه يمكنها تغطية مساحات واسعة من الغلاف الجوي ومحاكاة الشلال الهوائي بكل معالمه، على عكس المراقبة من على سطح الأرض. [23]

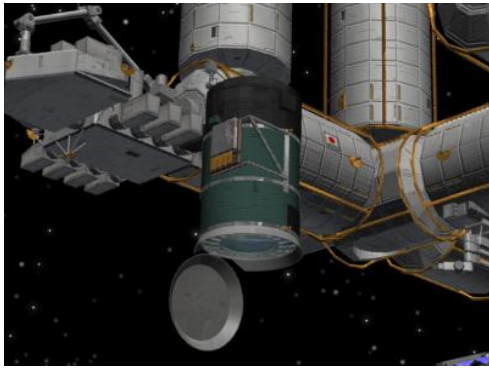
التليسكوب JEM-EUSO عالي الدقة من الناحية التكنولوجية و البصرية، يحتوي على فتحة كبيرة ذات مجال بصري واسع جدا يقدر بـ $\pm 30^\circ$ ، كما يستطيع تصوير مسار شلال هوائي بدقة زمنية تقدر بـ $2.5 \mu\text{s}$ ودقة مكانية تقدر بـ 0.75 km (الموافقة الى 0.1 درجة) حيث تسمح هذه الصور بتحديد طاقة ومكان قدوم الجسيمات الأولية. حيث يتكون نظام العدسات من عدستين فرينل "Fresnel". تستطيع عدسة فرينل التقاط الضوء الأكثر انحرافاً من مصدر الضوء نفسه بدقة عالية. أما السطح المحوري فهو مغطى بـ 6000 مضخم فوتوني متعدد الأنود (MAPMT) وكل واحد يتكون من 64 بكسل (64 نقطة شاشة). زيادة على ذلك فنظام الالكترونيات في تليسكوب JEM-EUSO يمكنها تعداد الفوتونات الواردة ليتم تسجيلها في المخزن الحلقي بشكل مؤقت على شكل خوارزميات تعبر عن معلومات خاصة بالشلال الهوائي ومن ثم يتم نقلها إلى المحطات الأرضية ليتم معالجتها وإعادة بناء الشلال الهوائي. [23،22]



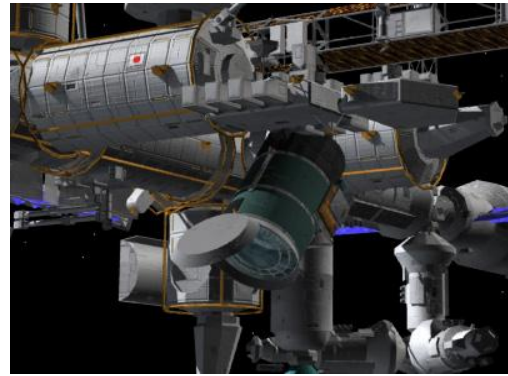
الشكل (2-6): مبدأ التليسكوب JEM-EUSO للكشف عن الجسيمات عالية الطاقة. [23]

الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

بسبب التقدم في التكنولوجيا والتحسينات على مستوى البصريات والكواشف الحساسة في التليسكوب JEM-EUSO، وكذا إمكانية تحسين الخوارزميات الحافظة لمعلومات الشلال الهوائي أمكن تحسين فعالية JEM-EUSO، كما لوحظ أيضا بسبب إمالة التليسكوب الشكل (7-2) عن وضعه العادي (الدرك الأسفل) أي في الوضع **nadir mode** إلى الوضع المائل أي في الوضع **tilted mode** يزيد في المجال الفعال الشكل (8-2) وكذا عتبة الطاقة بسبب زيادة حجم الشلال الهوائي والتخفيف في الغلاف الجوي.

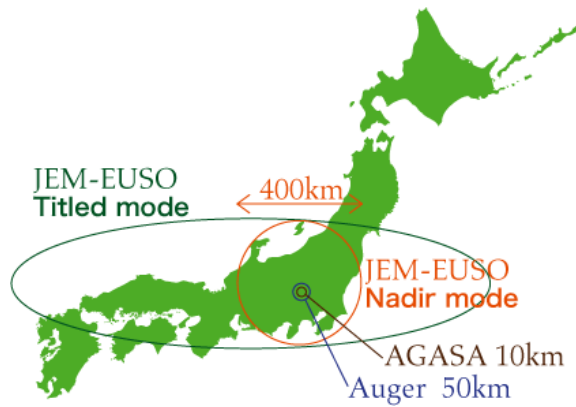


nadir mode



tilted mode

الشكل (7-2): صورة للتليسكوب JEM-EUSO في الحالتين على اليمين في حال الوضع العادي (الدرك الأسفل) nadir mode أما على اليسار في الوضع المائل tilted mode. [23]



الشكل (8-2): المنطقة التي يمكن للتليسكوب JEM-EUSO مراقبتها في الوضع العادي (الدرك الأسفل) والوضع المائل. [23]

2-5 - مميزات التلسكوبات الفضائية Characteristics of space telescopes:

من خلال تجارب الأشعة الكونية أمكننا استخلاص عدة خصائص، فقد أصبح في الوقت الحالي وصف أي تجربة استنادا لتلك الخصائص التي يمكننا شرحها كالتالي:
التدفق التفاضلي للجسيمات الأولية:

$$J(E) = \frac{d\Phi}{dEd\Omega} \propto E^{-\alpha} \quad (2.6)$$

التدفق التفاضلي يتبع قانون أسي بحيث α الدليل الطيفي.

أي تجربة للكشف عن الأشعة الكونية يمكنها مراقبة مساحة نشطة "S" بحيث يساعدنا ذلك من قياس تفاضل تدفق الجسيمات "J(E)" بمعرفة طاقة العتبة "E_{th}" وكذا الزاوية الصلبة "Ω" ومنه فإن معدل الحدث المتوقع يكتب بالعلاقة التالية:

$$\frac{dN}{dt} = \int_S \int_{\Omega} \int_{E_{th}} dS d\Omega dE \cos \theta \cdot \epsilon(\vec{x}, \theta, \phi, E) \quad (2.7)$$

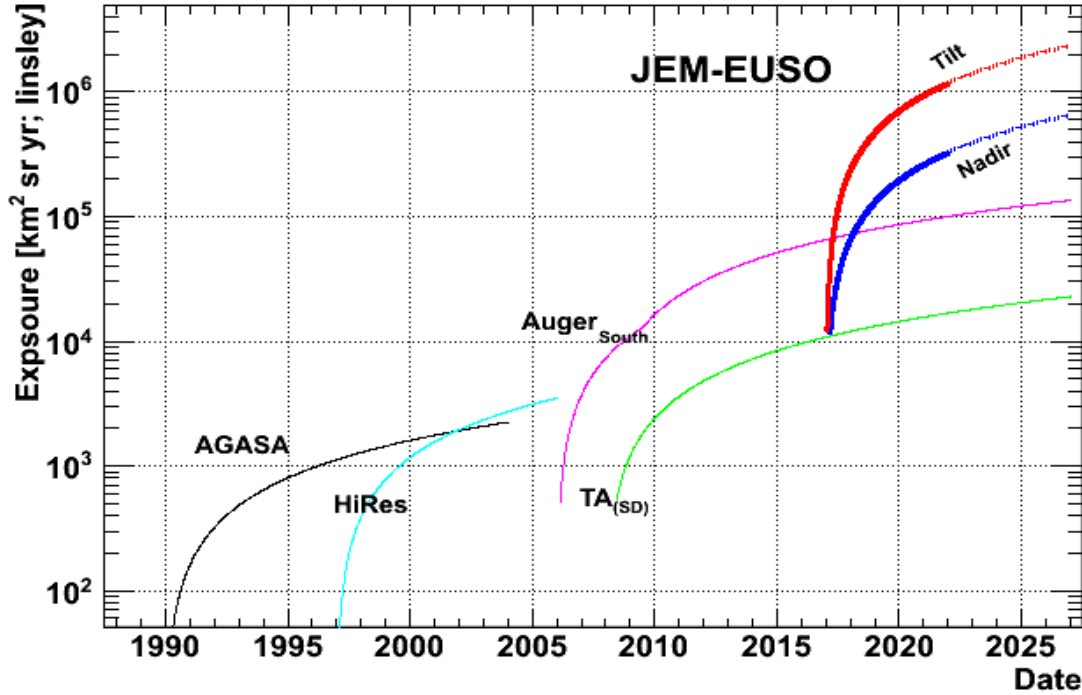
حيث $\epsilon(\vec{x}, \theta, \phi, E)$ تمثل فعالية الكشف عن ضوء الفلورة fluorescence. غير أن فعالية الكشف "ε" تزيد بزيادة وضوح الضوء الصادر عن الشلال الهوائي وخلوه من أي ضوضاء، لكن هذه الزيادة لا تدوم لأن فعالية الكشف "ε" تأخذ قيمة ثابتة في النهاية. [23]
يمكن أيضا تعريف الفتحة الهندسية الفعالة في التليسكوب، استنادا إلى معدل الحدث "dN/dt" المتوقع:

$$\mathcal{A}_{eff} = \int_S \int_{\Omega} dS d\Omega \cos \theta \quad (2.8)$$

$$\mathcal{A}_{eff} = \int_S \int_{\Omega} dS d\Omega \cos \theta \cdot \epsilon(\vec{x}, \theta, \phi, E) \quad (2.9)$$

حيث يمكن كتابة معادلة الحدث المتوقع "dN/dt" كما يلي:

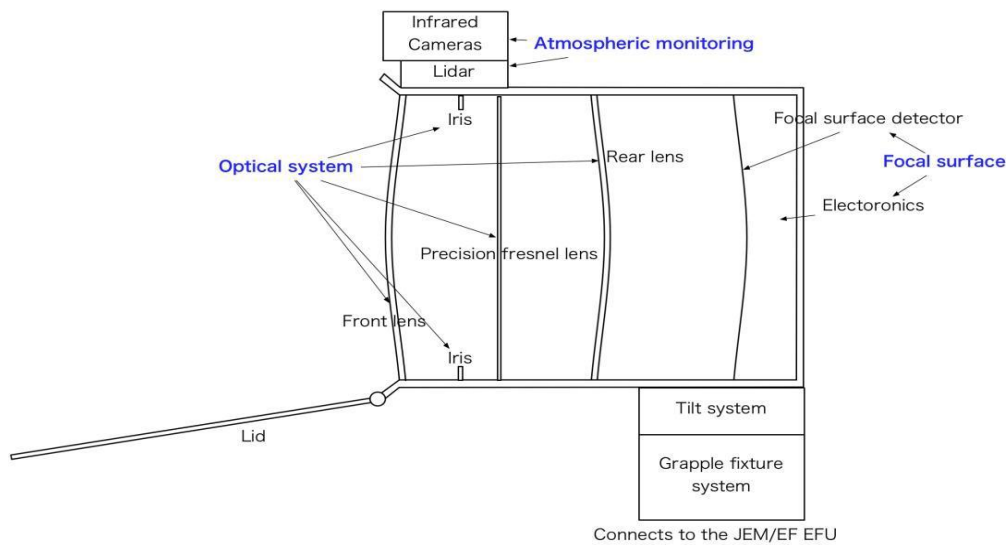
$$\frac{dN}{dt} = \mathcal{A}_{eff} \int_{E_{th}}^{\infty} dE J(E) \quad (2.10)$$



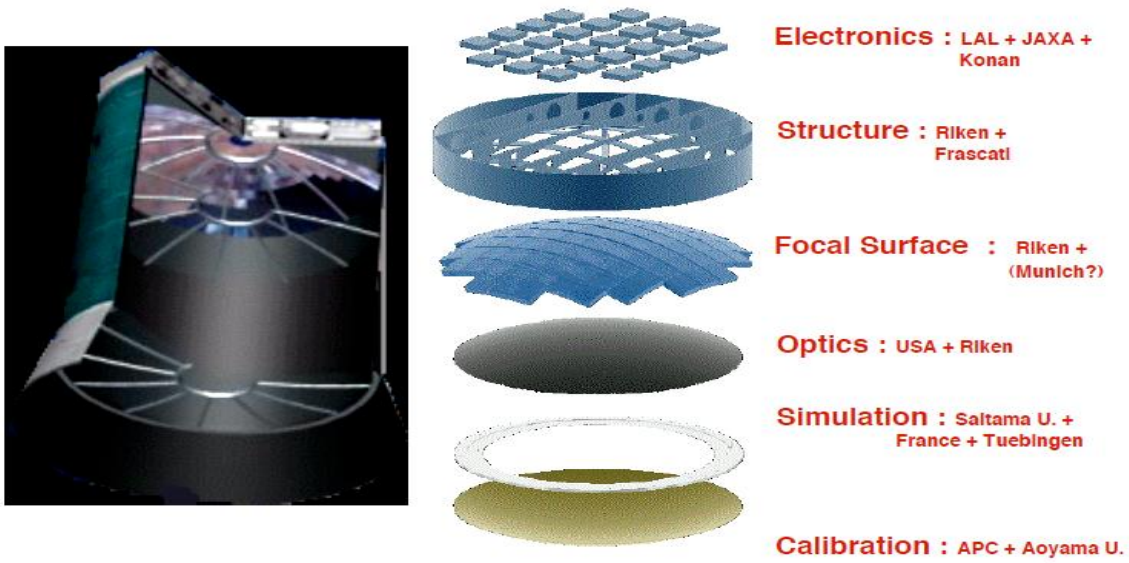
الشكل (2-9): مقارنة حساسية وفعالية التعرض للتليسكوب JEM-EUSO مع غيرها من التجارب في مجال الأشعة الكونية، فالخط الأحمر يعبر عن tilted mode أما الخط الأزرق يعبر عن nadir mode. [28]

2-6- تركيب التليسكوب JEM-EUSO:

من وجهة نظر محاكاة العرض فإن تليسكوب JEM-EUSO يتكون من ثلاث أجزاء رئيسية تتمثل في البصريات (العدسات) والالكترونيات وكذا الكاشف السطحي البؤري.



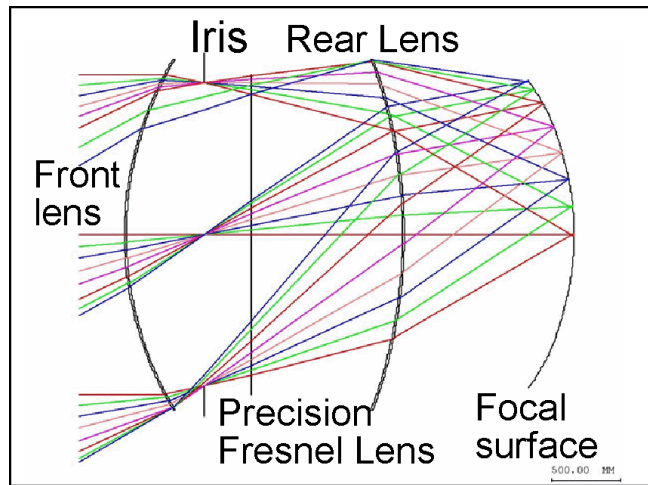
الشكل (2-10): التصميم التصوري للتليسكوب JEM-EUSO [22]



الشكل(2-11): بنية التليسكوب JEM-EUSO. [23]

2-6-1- البصريات the Optics:

البصريات التي يعتمد عليها التليسكوب JEM-EUSO ترجع إلى بدايات إنشاء هذا التليسكوب تحت اسم EAS-EUSO، حيث يتكون من عدستي فريزل Fresnel التي يقدر نصف قطرها بـ 2.5م، حيث تتميز عدسة فريزل Fresnel بالانحراف القادرة على تقليل التضليل و تصحيح الألوان. [23]



الشكل(2-12): نظام البصريات للتليسكوب JEM-EUSO. [23]

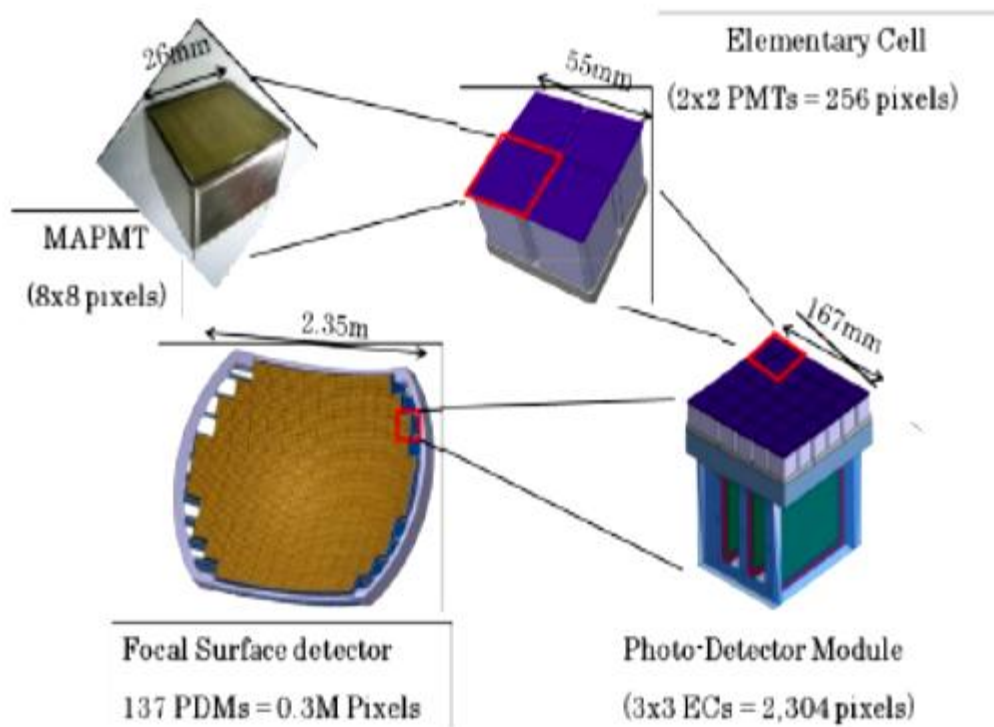
الفصل الثاني _____ الشلالات الهوائية- تليسكوب JEM-EUSO

وقد تم اقتراح تصميمين في نظام البصريات من قبل يختلفان عن بعضهما من ناحية المواد المكونة للعدسات غير أنه في نظام البصريات للتليسكوب JEM-EUSO تم استعمال عدسات فريزل Fresnel بدل من العدسات القياسية كونها قادرة على التقاط الضوء الأكثر انحرافا وإمكانية امتصاص الأشعة فوق البنفسجية UV التي يتراوح طولها الموجي بين (300nm-400nm)، غير أن هذا النوع من العدسات أثبت مثاليته وتفوقه في مجال البصريات لكن لا توجد له استعمالات قبل هذا في الفضاء.

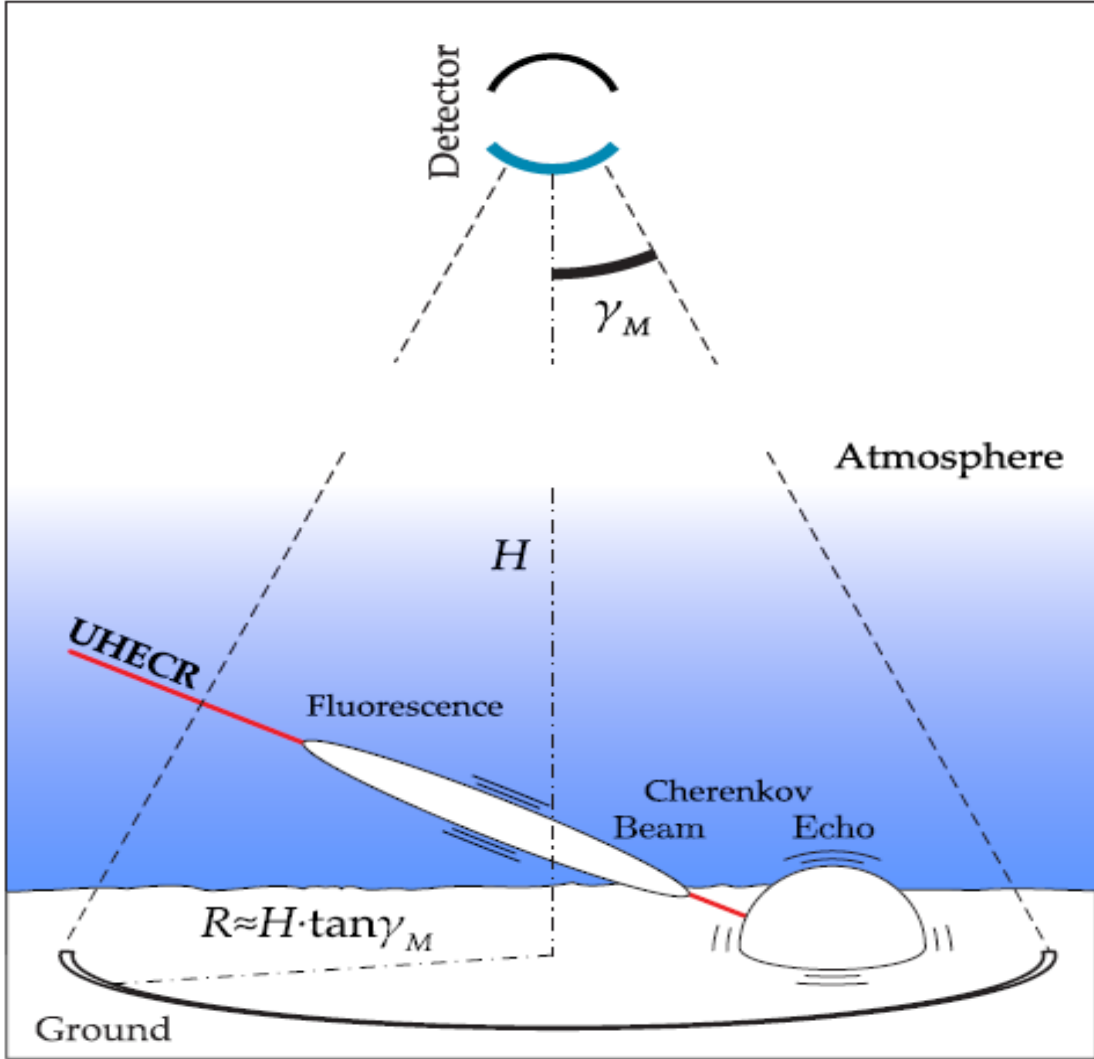
2-6-2- السطح البؤري ونظام الالكترونيات :Focal surface and electronics

يغطي السطح البؤري بشبكة مستطيلة بـ6000 مضخم فوتوني متعدد الأنود (MAPMT) يتكون كل MAPMT من 64 بكسل، حيث يتم صف كل أربع (2X2) MAPMTS وتسمى خلية أولية "EC" elementary cell و صف كل تسع (3X3) EC ويسمى كاشف الصورة النمطية "PDM" photo detector module وبالتالي فالسطح البؤري يتكون من 137 "PDM" قادر على إخراج صورة واضح جدا بدقة عالية تقدر بـ: 648315 بكسل.

يعتبر السطح البؤري بوابة لنقل الضوء الملتقط بواسطة نظام البصريات المكون من عدسات فريزل Fresnel الى نظام الالكترونيات، حيث يقوم كل MAPMT بعد فوتون واحد. [23]



الشكل (2-13): البنية التركيبية للسطح البؤري للتليسكوب JEM-EUSO ، مع كل MAPMT تحوي 8X8 بكسل [23].



الشكل (2-14): مبدأ المراقبة للشلال الهوائي الممتد من الفضاء، حيث γ_M نصف قطر حقل الرؤية الزاوي، H ارتفاع الكاشف R نصف قطر المنطقة المتوقع رصدها على سطح الأرض. [28]

الفصل الثالث

محاكاة ضوء الفلورة

Chapter III

Fluorescence Light Simulations

3-1- محاكاة ضوء الفلورة Fluorescence light simulation:

يعتبر برنامج ESAF أحد البرامج المعتمد في التليسكوب JEM-EUSO في عملية محاكاة ضوء الفلورة، بحيث يعتمد على نموذج عدد الإلكترونات 'Number of electrons model'. وهو أحد النماذج الرئيسية المعتمدة في عملية إنتاج ضوء الفلورة Fluorescence. فمن خلال معرفة عدد الإلكترونات خلال مسافة قدرها dl يمكن حساب عدد الفوتونات المنبعثة ذات الأطوال الموجية λ_{flu} وفق المعادلة التالية:

$$\frac{dN_{flu}}{dl} = N_e \int \left(\frac{1}{N_e} \frac{dN_e}{dE}(s) \right) \cdot FY_{flu}(E, P, T) \cdot dE \quad (3.1)$$

حيث $\left(N_e^{-1} \frac{dN_e}{dE}(s) \right)$ الطيف الطاقوي المقنن للإلكترونات، $FY_{flu}(E, P, T)$ ناتج الفلورة وحدته (photon/m) بطول الموجة λ_{flu} من أجل الكترون طاقته E . P و T هما الضغط والحرارة المحليين والمأخوذين على الارتفاع h ناتج الفلورة fluorescence yield المتعلق بدرجة الحرارة T وكثافة الغلاف الجوي ρ المحليين مأخوذ انطلاقاً من العلاقة التجريبية:

$$FY_{\lambda}^L = \frac{A_{\lambda}}{1 + \rho B_{\lambda} \sqrt{T}} \quad (3.2)$$

حيث ρ كثافة الغلاف الجوي (Kg/m^3)، والقيم التجريبية للمعاملات A_{λ} و B_{λ} نجدها محسوبة في قياسات Nagano [24] أو قياسات Kakimoto [25]. في برنامج ESAF تستعمل قياسات أحد المرجعين لحساب ناتج الفلورة fluorescence yield .

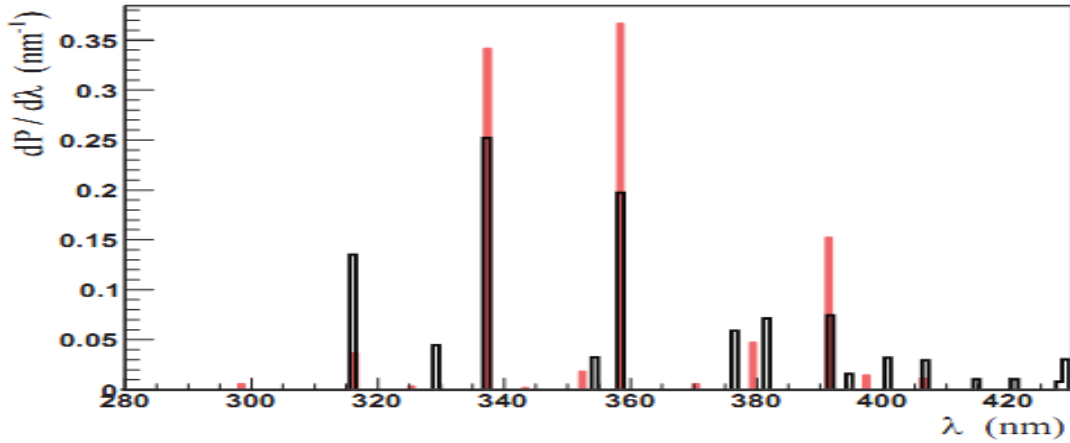
الفصل الثالث محاكاة ضوء الفلورة

نتاج الفلورة يتناسب مع الفقدان في الطاقة $\frac{dE}{dX_S}$ حيث X_S العمق المائل (g/cm^{-1}) في الغلاف الجوي، ومنه FY_λ^L يعطى بالعلاقة:

$$FY_\lambda^L(E, P, T) = FY_\lambda^L(E_{ref}, P, T) \frac{\frac{dE}{dX_S}(E)}{\frac{dE}{dX_S}(E_{ref})} \quad (3.3)$$

في برنامج ESAF يتم حساب الفقدان $\frac{dE}{dX_S}$ مباشرة من الطاقة E باستعمال علاقة Berger-Seltzer [26]. كما أن ناتج الفلورة $FY_\lambda^L(E_{ref}, P, T)$ في طاقة ثابتة E_{ref} معين في درجة حرارة $T=288\text{K}$ وضغط $p=1013\text{hPa}$ وكثافة الغلاف الجوي $\rho = 1.225\text{Kg/m}^3$. انطلاقاً من المراجع السابقة نأخذ مرجعي طاقة على التوالي $E_{ref} = 0.85\text{ MeV}$ و $E_{ref} = 1.4\text{ MeV}$.

طيف ناتج الفلورة ممثل في الشكل التالي:



الشكل (1-3): طيف انبعاث الفلورة في درجة حرارة $T=288\text{K}$ وضغط $p=1013\text{hPa}$ وكثافة الغلاف الجوي $\rho = 1.225\text{Kg/m}^3$ - الأعمدة السوداء- قياسات Nagano [24] - الأعمدة الحمراء- قياسات kakimoto [25] المكتملة بإشعاعات Bunner [27]. [21].

نلاحظ من الشكل (1-3) أن الطول الموجي لإشعاع الفلورة يكون في $\lambda \in [316, 400]\text{nm}$ ، أما بالنسبة للإشعاعات الثلاث الأكثر شدة تكون في الأطول الموجية 337, 357 و 391nm.

الفصل الثالث محاكاة ضوء الفلورة

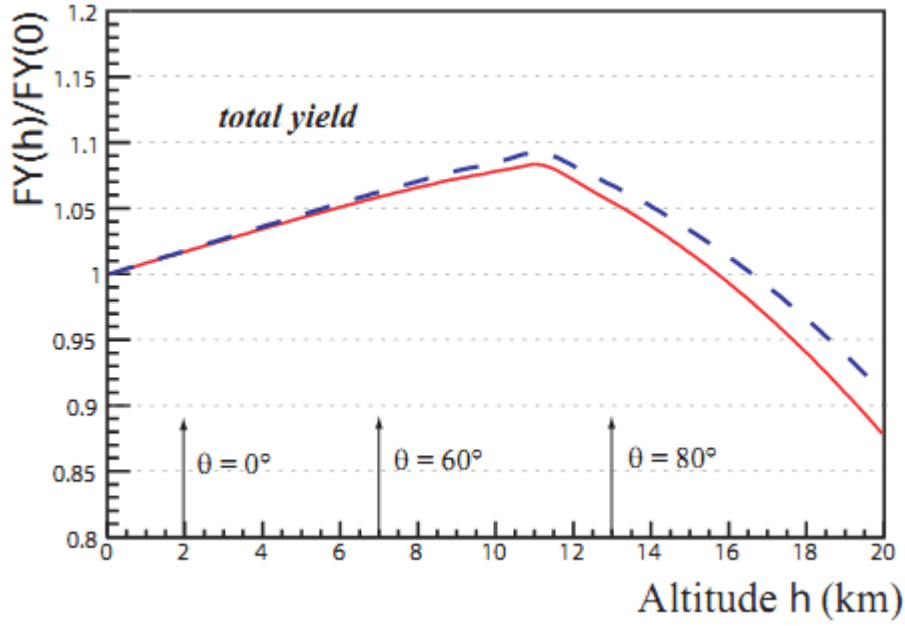
في برنامج ESAF يتم توفير الطيف الطاقي الالكتروني من خلال وحدة قياس الشلال، باستعمال العلاقة رقم (3.3)، التي تصف ناتج الفلورة المكامل على مدى الطول الموجي الطيفي. يمكن حساب متوسط فقدان طاقة الالكترون كالتالي:

$$\left\langle \frac{dE}{dX_e} \right\rangle_s = \int_E \left(\frac{1}{N_e} \frac{dN_e}{dE}(s) \right) \frac{dE}{dX_e}(E) dE \quad (3.4)$$

ومن خلال اشتقاق (3.1) يمكن الحصول على الصيغة التي تم تنفيذها في برنامج ESAF كالتالي:

$$\frac{dN_{fluo}}{dl} = N_e(s) \cdot FY^L(E_{ref}, P, T) \frac{\left\langle \frac{dE}{dX_e} \right\rangle_s}{\frac{dE}{dX_s}(E_{ref})} \quad (3.5)$$

إجمالي ناتج الفلورة (الشكل 3-2)) يختلف بشكل ضعيف على امتداد الشلال الهوائي الكبير (EAS Extensive Air Showers) (يقدر متوسط العائد بي 4.1 photon/m و 4.7 photon/m) غير أن التوزيع الطولي للفوتونات على طول الشلال الهوائي يشبه التوزيع الطولي للإلكترونات. إجمالي عدد فوتونات الفلورة المنبعثة على طول مسار الشلال الهوائي يكون من رتبة 10^{15} ev من طاقة الالكترون الأولية 10^{20} ev. يعتمد هذا العدد على ذروة زاوية الشلال الهوائي. الشلال الهوائي (EAS) المائل يأخذ أطول مسار وبالتالي إنتاج أكبر عدد ممكن من الفوتونات مقارنة بالشلال الهوائي (EAS) العمودي.



الشكل (3-2): ناتج الفلورة $\frac{FY^L(h)}{FY^L(0)}$ المتكامل على طيف الانبعاث بدلالة الارتفاع h

من خلال الشكل (الخط الأزرق المتقطع حيث ناتج الفلورة $FY^L(0) = 3.83 \text{ photon /m}$ من خلال الشكل (الخط الأزرق المتقطع حيث ناتج الفلورة $FY^L(0) = 3.26 \text{ photon /m}$ أما الخط الأحمر المستمر فناتج الفلورة [24] Nagano [25] Kakimoto أما في ما يخص الضغط الجوي P ودرجة الحرارة T وكثافة الغلاف ρ يتم الحصول عليها من النموذج القياسي الأمريكي للغلاف الجوي « The US Standard atmosphere model » ويمكن القول أن ضعف ناتج الفلورة يتعلق بالارتفاع h . [21]

3-2- حساب قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ وإيجاد العلاقة بينه وبين قيمة الدليل الطيفي α :

ارتأينا خلال هذه الدراسة حساب عدد فوتونات ضوء الفلورة dN_{fluo} على طول المسار dl . نعتبر في المعادلة (3.1) أن عدد الإلكترونات N_e ثابت مع أخذ قيمتين لنتاج الفلورة fluorescence yield $FY_\lambda^L = 4.1 \text{ photon/m}$ و $FY_\lambda^L = 4.7 \text{ photon/m}$ فتصبح على النحو التالي:

$$\frac{dN_{fluo}}{dl} = FY_\lambda^L \int \left(\frac{dN_e}{dE} \right) dE. \quad (3.6)$$

كما يمكن إعطاء الطيف الطاقوي الإلكتروني $\frac{dN_e}{dE}$ (s) صيغة أسية تعبر عن تغير التدفق التفاضلي للإلكترونات مع الطاقة وفق العبارة التالية:

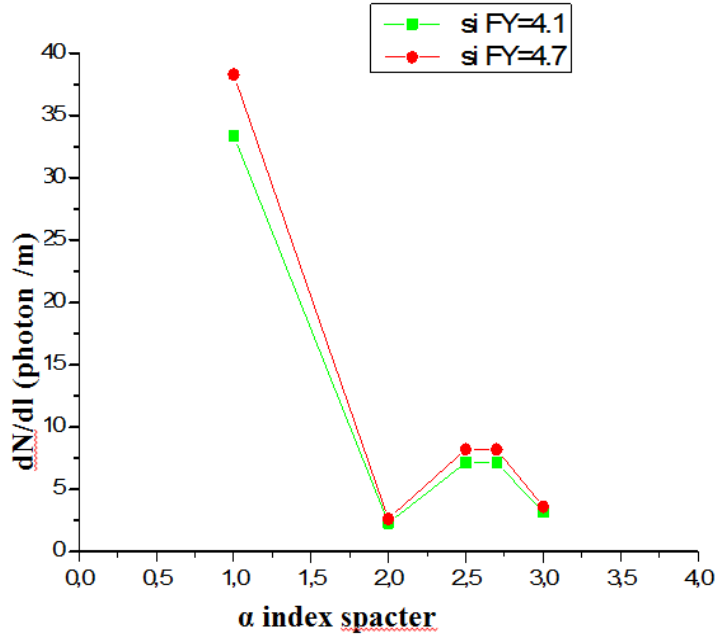
$$\frac{dN_e}{dE} = E^{-\alpha} \quad (3.7)$$

بتعويض (3.7) في (3.6) نجد :

$$\frac{dN_{fluo}}{dl} = FY_\lambda^L \int_{E_e} E^{-\alpha} dE. \quad (3.8)$$

يمكننا حساب قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ بعد تبسيط العبارة (3.1) إلى العبارة السابقة (3.8) بكتابة برنامج بلغة الفورترن من أجل قيم الدليل الطيفي $\alpha = 1, 2, 2.5, 3$ ، حيث نستعمل طريقة شبه المنحرف لحساب التكامل $\int_{E_e} E^{-\alpha} dE$. بما أن التكامل يكون على مجال الطيف الطاقوي الإلكتروني، أخذنا حدود التكامل على حسب مجال الطول الموجي لفوتونات ضوء الفلورة $E_e \in [10^{15}, 10^{17}]$ أي $\lambda \in [300, 400 \text{ nm}]$.

حيث امكنا تلخيص كل هذا في منحنى يمثل قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ بدلالة قيمة الدليل الطيفي α في حالتنا ناتج الفلورة $FY_\lambda^L = 4.1 \text{ photon/m}$ و $FY_\lambda^L = 4.7 \text{ photon/m}$ كما هو موضح في الشكل (3-3).



الشكل (3-3): قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ عند كل قيمة الدليل الطيفي α .

من خلال الشكل (3-3) نجد:

* عند قيمة $\alpha = 1$ تكون قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ كبير وذلك راجع الى كَوْن التدفق التفاضلي للإلكترونات $(s) \frac{dN_e}{dE}$ عند قيمة $\alpha = 1$ يكون كبير مما يسمح بإنتاج عدد كبير من الفوتونات على طول مسار الشلال الهوائي.

عند القيمة $\alpha = 2$ تكون قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ صغيرة جدا وهذا راجع الى تناقص التدفق التفاضلي للإلكترونات $(s) \frac{dN_e}{dE}$ عند قيمة $\alpha = 2$ مما يجعل إنتاج منخفض للفوتونات على طول مسار الشلال الهوائي.

* عند القيمتين $\alpha = 2.5$ و $\alpha = 2.7$ تأخذ قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ قيمة ثابتة وهذا راجع إلى ثبات في التدفق التفاضلي للإلكترونات $(s) \frac{dN_e}{dE}$ على طول مسار الشلال الهوائي مما يفسر ثبات إنتاج الفوتونات عند هتين القيمتين للدليل الطيفي.

الفصل الثالث _____ محاكاة ضوء الفلورة

* عند قيمة $\alpha = 3$ نلاحظ تناقص معتبر لقيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ وهذا راجع الى ان التدفق التفاضلي للإلكترونات على مستوى الشلال الهوائي يتناقص، وهذا ما رأيناه في الطيف الطاقوي (انظر الفصل الاول) في منطقة الركبة.

تتعلق قيمة $\frac{dN_{fluo}}{dl}$ بشكل مباشر بالتدفق التفاضلي للإلكترونات $\frac{dN_e}{dE}$. كما يمكن القول أيضا من المعادلة (3.7) أن للطابع الأسّي علاقة كبيرة فيما يخص التدفق التفاضلي للإلكترونات ذات الطاقات العالية.

مع وجود جيل جديد من كواشف الأشعاعات الكهرومغناطيسية مثل تليسكوب JEM-EUSO يمكن زيادة الاحصاءات خاصة فيما يخص الطيف الطاقوي وتفسير الطابع الأسّي للتدفق التفاضلي.

3-3- ناتج الفلورة FY_{λ}^L :

يعتبر ناتج الفلورة FY_{λ}^L قيمة حسابية مهمة في عملية محاكاة برنامج ESAF التي يقوم عليها تلسكوب JEM-EUSO.

من المعادلة (3.2) نجد أن ناتج الفلورة fluorescence yield يتعلق بدرجة الحرارة T وكثافة الغلاف الجوي ρ المحليين والقيم التجريبية للمعاملات A_{λ} و B_{λ} التي تظهر لنا في

الجدول (3-1): مأخوذة من قياسات Nagano [24].

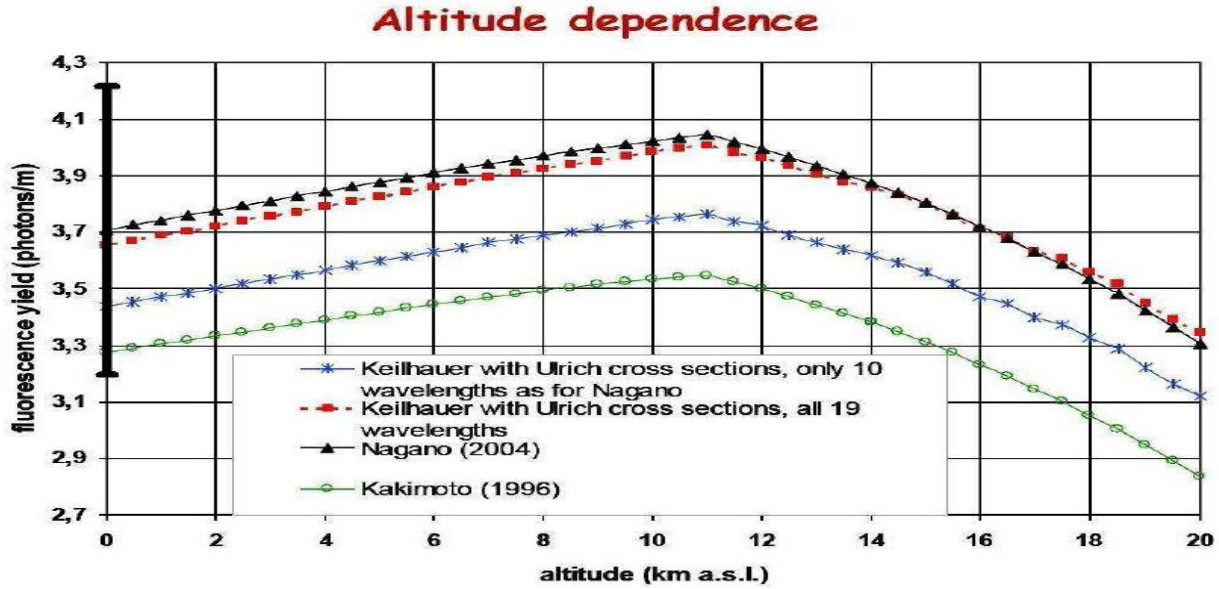
FY_{λ}	B_{λ}	A_{λ}	λ (nm)
photon/m	$m^3 \cdot kg^{-1}$	$m^3 \cdot kg^{-1} \cdot k^{-\frac{1}{2}}$	
0.549±0.57	2.14±0.18	20.5±1.3	316
0.180±0.026	1.22±0.14	3.91±0.35	329
1.021±0.060	2.56±0.10	45.6±1.2	337
0.130±0.022	1.60±0.21	3.68±0.39	354
0.799±0.080	2.72±0.22	37.8±2.3	358
0.238±0.036	1.44±0.17	6.07±0.57	376
0.287±0.050	2.53±0.35	12.7±1.4	381
0.302±0.020	9.80±0.51	50.8±2.1	391
0.063±0.033	2.03±0.79	2.25±0.78	394
0.129±0.019	2.03±0.23	4.58±0.44	400
0.118±0.019	3.99±0.52	8.18±0.82	406
0.041±0.009	2.55±0.45	1.83±0.26	414
0.042±0.015	6.8±1.7	4.90±1.1	420
0.032±0.023	0.68±0.35	0.40±0.18	427
0.121±0.022	12.70±1.9	26.5±2.4	428

الجدول (3-1): ملخص لنتائج Nagano [24] للقيم التجريبية للمعاملات A_{λ} و B_{λ} على طول المجال

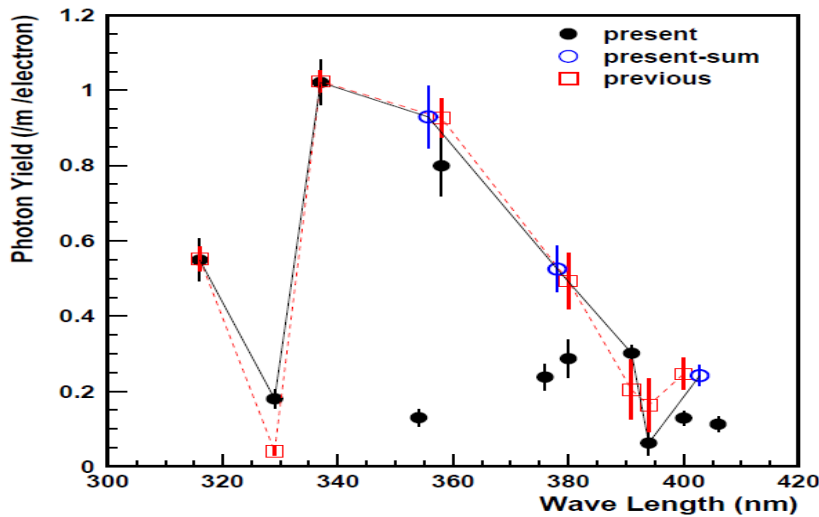
الطيفي $\lambda \in [316, 428 \text{ nm}]$ ، مع إضافة ناتج الفلورة FY_{λ}^L حسب المعادلة (3.2).

الفصل الثالث محاكاة ضوء الفلورة

توجد عديد التجارب التي استطاعت حساب المعاملات A_λ و B_λ حيث أدت كل تجربة الى حساب ناتج الفلورة وعلاقته بتغير الارتفاع h والطول الموجي λ الخاصة بها كما هو موضح في الشكل (3-4) والشكل (3-5).



الشكل (3-4): الاختلاف في ناتج الفلورة FY_λ^L بدلالة الارتفاع h . جميع قيم نتائج التجارب الممثلة في هذا الشكل. مأخوذة استنادا الى النموذج الامريكي القياسي للغلاف الجوي. كما نلاحظ من الشكل قيمة ناتج الفلورة $FY_\lambda^L = 3.81 \text{ photon/m}$ لنتائج Nagano [24].



الشكل (3-5): تغير ناتج الفلورة $FY_\lambda^L(h)$ الفردية خلال كل طول موجي λ حسب Nagano [24].

أقصى قيمة له $FY_\lambda^L(10) = 1.12 \frac{\text{photon}}{m}$ عند الطول الموجي $\lambda = 337 \text{ nm}$.

• نموذج الغلاف الجوي وتأثيره على FY_{λ}^L :

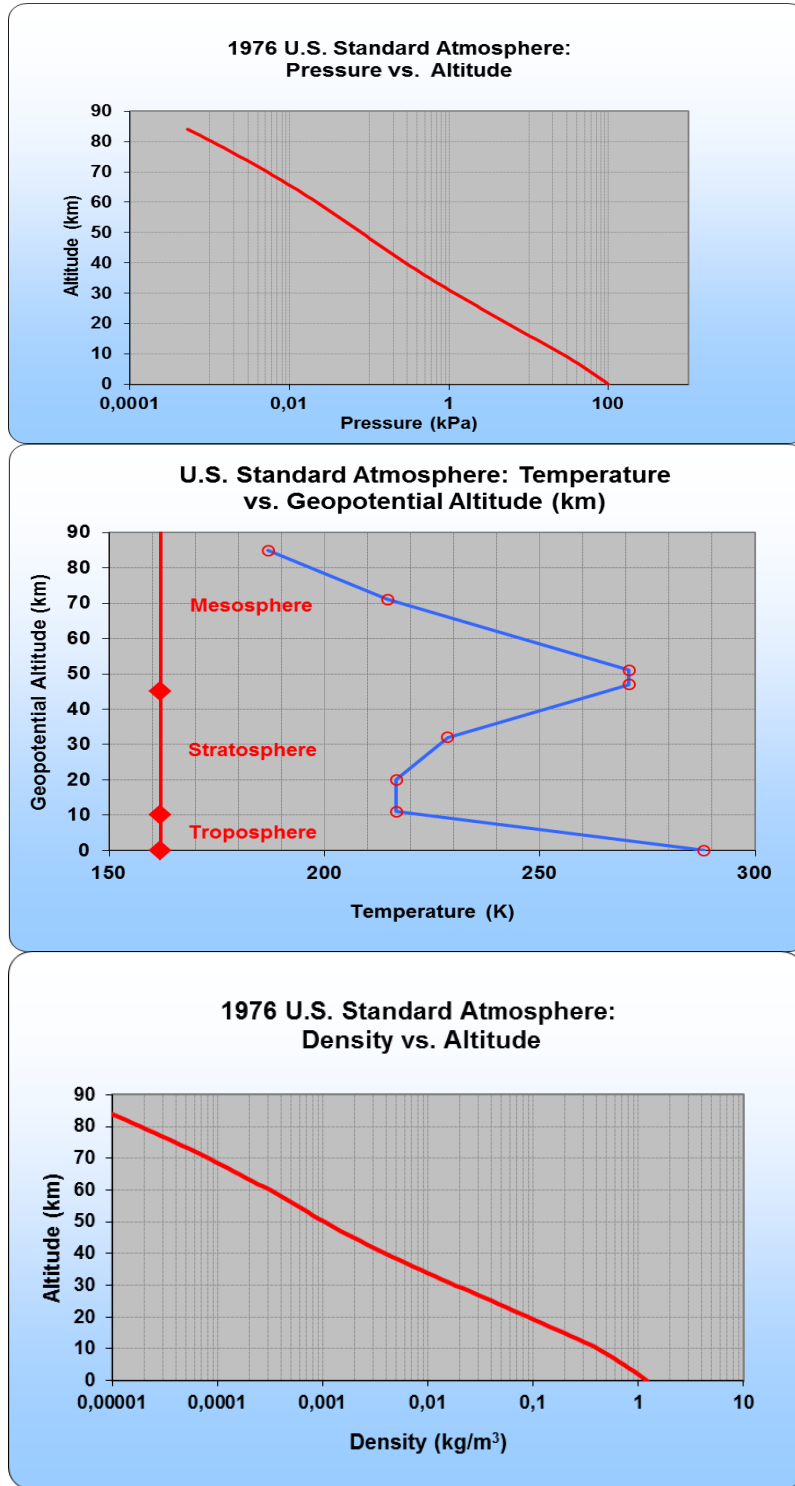
الغلاف الجوي ذو خصائص كيميائية حيث يتكون من 78.47% آزوت و 21.05% من الأوكسجين وعديد العناصر بشكل ضعيف جدا. كما أن 90% من كتلته موجودة على ارتفاع 18Km من سطح البحر و 1% من الكتلة موجودة على 32Km، فمن خلال معرفة الكتلة المولية للغلاف الجوي يمكن تحديد كثافته ρ من أجل مختلف الحسابات كفقد الطاقة، الشلالات الهوائية و عمق الغلاف الجوي (المائل X_S والعمودي X)، وكل هذا يمكن أن يؤثر على مردود ناتج الفلورة FY_{λ}^L .

في هذا الجزء من دراستنا سنقوم بحساب FL_{λ}^L بالاعتماد على النموذج الامريكي القياسي للغلاف الجوي لاستخراج درجة الحرارة T وكثافة الغلاف الجوي ρ والضغط P على طول الارتفاع h التي يمكن تلخيصها في الجدول (2-3) والشكل (3-6) كالتالي:

الارتفاع h(km)	درجة الحرارة T(k)	الكثافة ρ (kg/m ³)	الضغط p(hPa)
0	288,15	1,225	101,33
5	255,64	0,736	54.05
10	223,15	0,412	26.50
15	216,65	0,193	12.11
20	216,65	0,088	5.52
25	221,65	0,039	2.54
30	226,65	0,018	1.19
35	237,05	0,0082	0.57
40	251,05	0,0038	0.28
45	265,05	0,0018	0.14
50	270,65	0,0009	0.13

الجدول (2-3): تغير درجة الحرارة T وكثافة الغلاف الجوي ρ المحليين بدلالة الارتفاع h للنموذج القياسي الامريكي للغلاف الجوي.

يمكن تلخيص الجدول (3-2) في المنحنيات التالية [27]:



الشكل (3-6): اختلافات درجة الحرارة T والكثافة ρ والضغط P . تخص النموذج القياسي الامريكى للغلاف الجوي .

الفصل الثالث محاكاة ضوء الفلورة

تتعلق كل من درجة الحرارة T والكثافة ρ والضغط P بالارتفاع h ، حيث تصبح المعادلة (3.2) بالشكل التالي:

$$FY_{\lambda}^L(h) = \frac{A_{\lambda}}{1 + \rho(h)B_{\lambda}\sqrt{T(h)}} \quad (3.9)$$

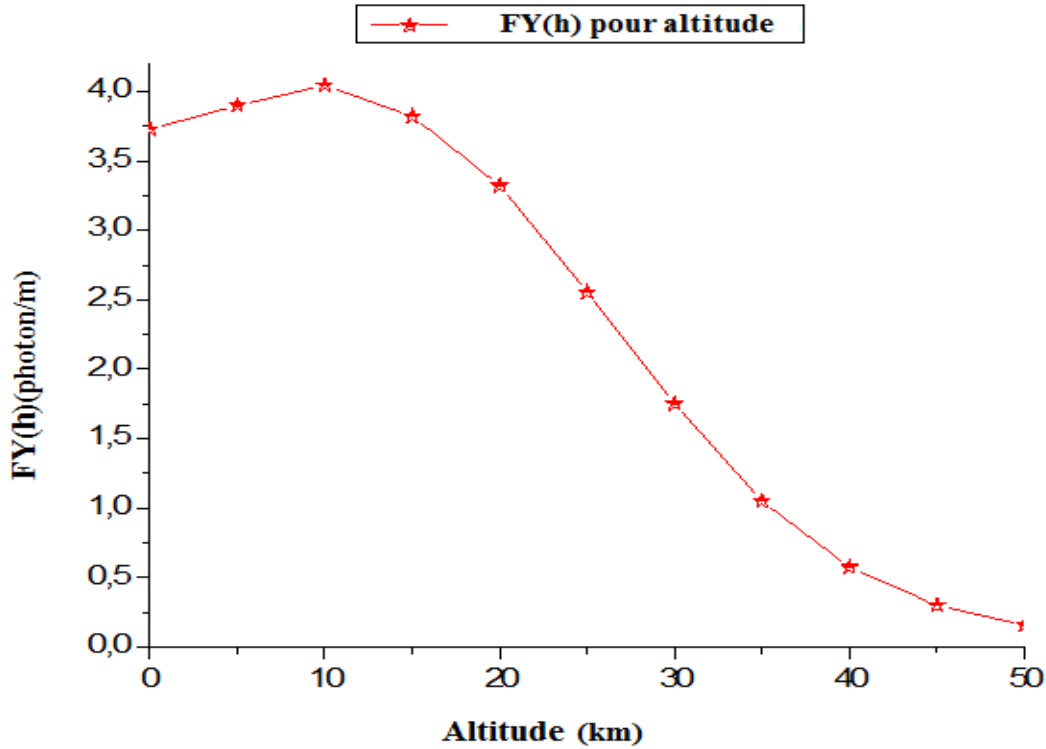
من أجل معرفة تأثير الارتفاع h على مردود ناتج الفلورة FY_{λ}^L قمنا بحساب FY_{λ}^L مع تغيير الارتفاع h ونحسب ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ مع أخذ القيم التجريبية للمعاملات A_{λ} و B_{λ} من الجدول (3-1) الخاص بنتائج قياسات Nagano [24] دون تضمين الخطأ فكانت نتائجننا ملخصة في الجدول (3-3) التالي:

$FY_{\lambda}^L(h)$ Photon/m ناتج الفلورة بدلالة الارتفاع h (Km)											λ (nm)
h=50	h=45	h=40	h=35	h=30	h=25	h=20	h=15	h=10	h=5	h=0	
0,0178	0,0347	0,0690	0,1323	0,2335	0,3565	0,4782	0,5588	0,5960	0,5762	0,5519	316
0,0034	0,0067	0,0138	0,0277	0,0528	0,0892	0,1333	0,1689	0,1893	0,1873	0,1816	329
0,0395	0,0763	0,1501	0,2825	0,4846	0,7152	0,9297	1,0638	1,1212	1,0782	1,0299	337
0,0032	0,0063	0,0127	0,0251	0,0462	0,0744	0,1054	0,1280	0,1397	0,1365	0,1315	354
0,0327	0,0630	0,1234	0,2307	0,3916	0,5715	0,7354	0,8359	0,8778	0,8428	0,8044	358
0,0053	0,0104	0,0212	0,0421	0,0785	0,1289	0,1864	0,2301	0,2535	0,2489	0,2402	376
0,0110	0,0212	0,0418	0,0789	0,1356	0,2006	0,2613	0,2993	0,3157	0,3037	0,2901	381
0,0399	0,0710	0,1214	0,1861	0,2501	0,2961	0,3264	0,3399	0,3413	0,3214	0,3038	391
0,0019	0,0038	0,0076	0,0146	0,0261	0,0402	0,0545	0,0641	0,0686	0,0665	0,0637	394
0,0040	0,0077	0,0155	0,0298	0,0531	0,0819	0,1110	0,1306	0,1398	0,1354	0,1298	400
0,0069	0,0131	0,0250	0,0446	0,0707	0,0961	0,1167	0,1279	0,1318	0,1255	0,1193	406
0,0015	0,0030	0,0060	0,0113	0,0194	0,0287	0,0374	0,0428	0,0451	0,0434	0,0414	414
0,0040	0,0073	0,0132	0,0216	0,0310	0,0386	0,0439	0,0465	0,0471	0,0445	0,0421	420
0,0003	0,0007	0,0014	0,0030	0,0060	0,0111	0,0187	0,0263	0,0317	0,0327	0,0323	427
0,0200	0,0347	0,0570	0,0834	0,1073	0,1234	0,1336	0,1379	0,1379	0,1296	0,1224	428
0,1590	0,3016	0,5768	1,0503	1,7526	2,5549	3,3220	3,8200	4,0434	3,8974	3,7275	المجموع
0,0426	0,0809	0,1547	0,2817	0,4701	0,6854	0,8912	1,0248	1,0847	1,0455	1	$\frac{FY_{\lambda}^L(h)}{FY_{\lambda}^L(0)}$

الجدول (3-3): يمثل النتائج التي تحصلنا عليها من خلال حساباتنا ببرنامج الفورترون. ناتج الفلورة بالنسبة للارتفاع الموافق لمستوي سطح البحر حسب Nagano [24] للمعاملات A_{λ} و B_{λ} كما هو موضح في

$$\text{الجدول (3-3)} \quad FY_{\lambda}^L(0) = 3.81 \frac{\text{photon}}{m} \text{ يوافق النتائج التي تحصلنا عليها } FY_{\lambda}^L(0) = 3.72 \frac{\text{photon}}{m} .$$

❖ لمعرفة العلاقة بين الارتفاع h وناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ قمنا برسم لناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ بدلالة الارتفاع h كالتالي:



الشكل (3-7): تغير في ناتج الفلور $FY_{\lambda}^L(h)$ بدلالة الارتفاع h من خلال النتائج التي تحصلنا عليها.

نلاحظ أن ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ يتزايد على طول مجال الارتفاع $h \in [0, 10Km]$ ليأخذ أقصى قيمة $FY_{\lambda}^L(10.5) \simeq 4.05 \frac{photon}{m}$ عند الارتفاع $h \simeq 10.5Km$ وهي تقارب النتائج التجريبية كما

هو موضح في الشكل (3-4) ثم تبدأ في التناقص على طول المجال $h \in [10.5, 50Km]$.

يمكن ارجاء تزايد ناتج الفلورة خلال المجال $h \in [0, 10Km]$ إلى التوابع الناتجة عن التغيرات

درجة الحرارة T والكثافة ρ والضغط P خلال هذا المجال كما هو ملاحظ في الشكل (3-6)، كما لا

ننسى أن 90% من كتلة الغلاف الجوي متواجدة على طول المجال $h \in [0, 18Km]$ مما

يعني تفاعل جيد لجسيمات الشلالات الهوائية وهذا ما يفسر اعطاء افضل النتائج لناتج الفلورة.

عند $h = 10.5Km$ يمكن تفسير أن ناتج الفلورة يأخذ أعلى قيمة له $FY_{\lambda}^L(10.5) \simeq 4.05 \frac{photon}{m}$

بأنه راجع الى مثالية المتغيرات من درجة الحرارة T والكثافة ρ والضغط P ، وكاستنتاج غير

الفصل الثالث _____ محاكاة ضوء الفلورة

مباشر يمكن اعتبار أن التوزيع العرضي للشلال الهوائي يأخذ قيمته العظمى مع وجود كتلة كبيرة لجزيئات الأوزون عند هذا الارتفاع.

أما التناقص الحاصل في ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ خلال المجال $h \in [10.5, 50Km]$ راجع الى أن هذه الطبقة من الغلاف الجوي والمسماة stratosphère تعتبر المغذي الرئيسي لطبقة الأوزون وهي قادرة على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية UV مما يجعل الكشف عن اشعاعات الفلورة ضعيف نوعا ما.

كما أن ضعف ناتج الفلورة يتعلق بالارتفاع h .

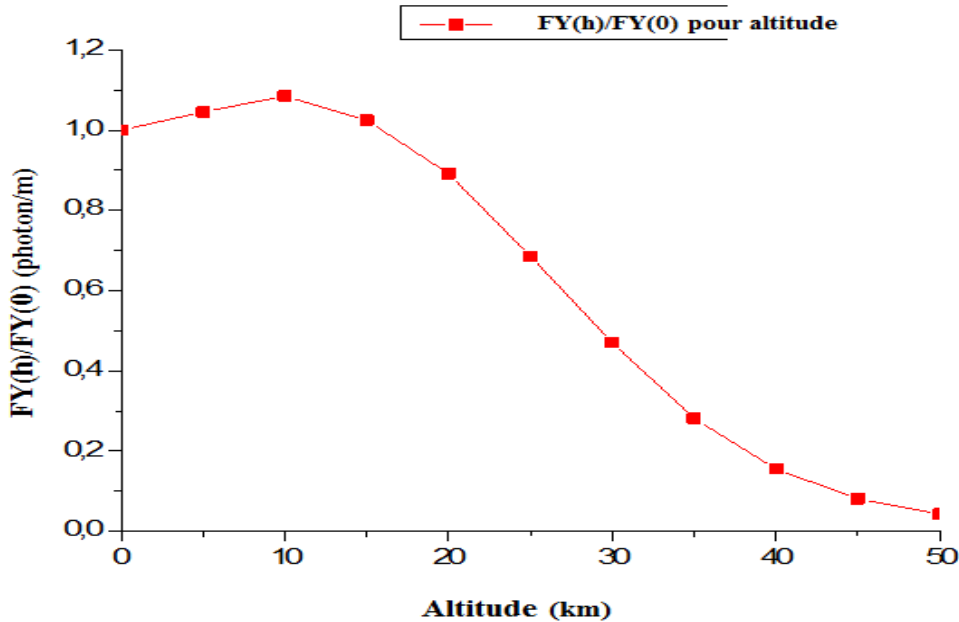
❖ لمعرفة النسبة $\frac{FY_{\lambda}^L(h)}{FY_{\lambda}^L(0)}$ بدلالة الارتفاع h من اجل مقارنتها بالنتائج التجريبية وايجاد علاقة

ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(0)$ المحسوبة على ارتفاع مستوى سطح البحر وفق النموذج القياسي

الامريكي للغلاف الجوي US مع نواتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ المتعلق بالارتفاع h . من خلال

القيم المتحصل عليها في الجدول (3-3) قمنا برسم النسبة $\frac{FY_{\lambda}^L(h)}{FY_{\lambda}^L(0)}$ بدلالة الارتفاع h

كما هو موضح في الشكل (3-8)

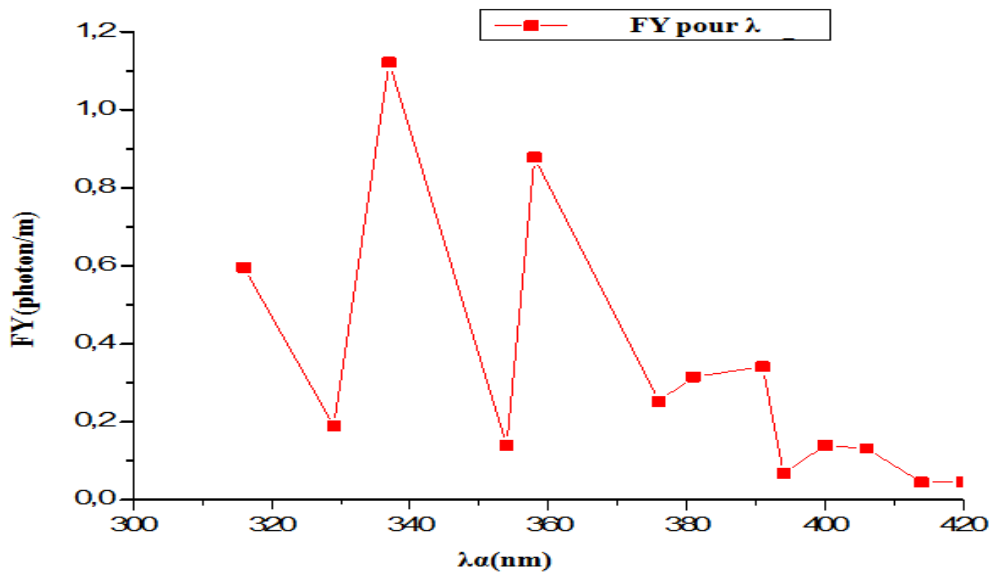


الشكل (3-8): يمثل منحنى لناتج الفلورة $\frac{FY_{\lambda}^L(h)}{FY_{\lambda}^L(0)}$ بدلالة الارتفاع h

الفصل الثالث محاكاة ضوء الفلورة

من خلال الشكل (3-8) نلاحظ تطابق بين نتائجنا ونتائج تجارب سابقة كما يوضحه الشكل (3-2) حيث أن ناتج الفلورة الذي تحصلنا عليه $FY_{\lambda}^L(0) = 3.72 \frac{\text{photon}}{m}$ يعتبر جيد بمقارنته بناتج الفلورة لكل من Nagano [24] $FY_{\lambda}^L(0) = 3.81 \frac{\text{photon}}{m}$ و Kakimoto [25] $FY_{\lambda}^L(0) = 3.26 \frac{\text{photon}}{m}$.

❖ لمعرفة تغير ناتج الفلورة خلال حالة فردية واحدة أخذنا كمثال ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(10)$ بدلالة الطول الموجي λ وهو ما يمثله الشكل (3-9):



الشكل (3-9): يمثل تغير لناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(10)$ الفردية خلال كل طول موجي λ

من خلال الشكل (3-9):

نجد أن نواتج الفلورة عند قيم طولي الموجة 391 و 394 nm متقاربة الى حد قريب، وتختلف عند الاطوال الموجية الاخرى. وبأخذ أقصى قيمة له $FY_{\lambda}^L(10) = 1.12 \frac{\text{photon}}{m}$ عند الطول الموجي

$\lambda = 337 \text{ nm}$ عند الارتفاع $h = 10 \text{ Km}$ بحيث نجدها قريبة من نتائج Nagano [24].

الفصل الثالث _____ محاكاة ضوء الفلورة

في هذا الفصل قمنا بمحاولة ايجاد بعض النتائج التي يقوم برنامج ESAF (EUSO Simulation and Analysis Framework) بحسابها لكن باستعمال ادوات حسابية مختلفة فقمنا بدراسة ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ بدلالة التغير في الارتفاع h للغلاف الجوي ومقارنتها مع نتائج ESAF فتوصلنا الى ما يلي :

* **ضعف ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ يتعلق بالارتفاع h ، لأنه بتغير الارتفاع h تتغير عدة متغيرات** تتمثل في درجة الحرارة T والكثافة ρ والضغط P التي بدورها تدخل في حساب $FY_{\lambda}^L(h)$ حيث يأخذ اقصى قيمة $FY_{\lambda}^L(10.5) = 4.05 \frac{\text{photon}}{m}$ عند $h = 10.5 \text{ Km}$ وهي قيمة مقارنة لناتج الفلورة لكل من Nagano [24] $FY_{\lambda}^L(10) = 4.1 \frac{\text{photon}}{m}$ و Kakimoto [25] $FY_{\lambda}^L(10) = 4.7 \frac{\text{photon}}{m}$.

* **التغير في الطول الموجي λ يؤثر على ناتج الفلورة $FY_{\lambda}^L(h)$ في حين يبلغ هذا الاخير** أقصى قيمة له عند $\lambda = 337 \text{ nm}$. كما هو ملاحظ في جميع نواتج الفلورة في الحالات الفردية.

من خلال ما سبق فقد وجدنا أن النتائج التي تحصلنا عليها قريبة من نتائج برنامج المحاكاة ESAF (EUSO Simulation and Analysis Framework) المعتمد في تلسكوب JEM-EUSO من أجل محاكاة ضوء الفلورة.

خاتمة

Conclusion

خاتمة:

تطرقنا في عملنا هذا الى الأشعة الكونية التي تأتينا من مختلف مناطق الكون البعيد. تصل الى الكرة الأرضية بطاقات عالية تصل الى $10^{20} eV$. تتفاعل مع مكونات الغلاف الجوي لتشكل شلالات هوائية قادرة على التوسع والتطور مما ينتج مليارات الجسيمات الثانوية من اهمها فوتونات الفلورة Fluorescence وفوتونات شيرونكوف Čerenkov . يتم رصدها بواسطة مرصد أرضية مثل: **Pierre Auger** وكذا مرصد فضائية مثل فكرة تلسكوب JEM-EUSO الذي تسمح تركيبته البصرية والالكترونية المتطورة من رصدها ودراستها بشكل دقيق حيث يقوم بإعادة بناء وهيكله الشلالات الهوائية من أجل ايجاد مصدر الاشعة الكونية الأولية.

قمنا بإجراء محاكاة لضوء الفلورة ودراسة ناتج الفلورة FY_{λ}^L بأخذ النموذج القياسي الامريكي للغلاف الجوي، مما ادى بنا الى الوصول الى معرفة أن بنية الغلاف الجوي التركيبية وخصائصه الفيزيائية درجة الحرارة ، الكثافة والضغط المتغيرة بدلالة الارتفاع h و حتى الطول الموجي λ لفوتونات الفلورة تؤثر جميعها على ناتج الفلورة FY_{λ}^L .

وجدنا أن نتائج المحاكاة التي قمنا بها متطابقة مع نتائج برنامج (ESAF) EUSO (Simulation and Analysis Framework) المعتمد من طرف تلسكوب JEM-EUSO مع وجود خطأ نسبي سببه الاختلاف في طرق الحساب.

قائمة المراجع

Bibliography

Bibliography :

- [1]-**Fabrice Cohen**. *Simulation de gerbes atmosphériques aux énergies de l'Observatoire Pierre Auger et fonction de distribution latérale*. Université Paris XI.(2003).
- [2]- **Pierre DA SILVA**. *A la recherche des énergies extrêmes : détection des rayons cosmiques avec l'Observatoire Pierre Auger*. Université Paris 6.(2004).
- [3]- **Gaëlle BOUDOUL**. *Trous noirs primordiaux, rayonnement cosmique et développements instrumentaux pour l'imageur Tcherenkov de l'expérience spatiale AMS*. Université Joseph Fourier – Grenoble I.(2003).
- [4]- **Gilles MAURIN**. *Étude de la nature des rayons cosmiques d'ultra haute énergie à partir des premières données de l'Observatoire Pierre AUGER*. Université Paris VII.(2005).
- [5]-**Faiza Si belkhir**. *Cosmic Ray Dosimetry*. El-Hadj Lakhdar University of Batna.(2009).
- [6]- **Corentin LE GALL**. *Simulation de gerbes atmosphériques et définition de l'acquisition des stations locales pour l'expérience Pierre Auger*. Université Paris 7.(1999).
- [7]- **Bruny BARET**. *Simulation et détection du Rayonnement Cosmique : Production d'antimatière dans l'atmosphère et étude de l'imageur Čherenkov annulaire de l'expérience AMS*.Université Joseph Fourier.(2004).
- [8]-**Andreas Zech**. *A Measurement of the Ultra-High Energy Cosmic Ray Flux with the HiRes FADC Detector*. University of New Jersey.(2004).
- [9]- **Kévin PAYET**. *Etude des neutrinos de Ultra-Haute Energie à l'observatoire Pierre Auger*. University Joseph Fourier-Grenoble I.(2004).
- [10]- **Kumiko KOTERA**. *Sources énergétique ,champs magnétique extra-galactique, astroparticules :énergie astrophysique vues par les rayons cosmiques de ultra-haute énergie* . University PIERRE ET MARIE CURIE.(2009).
- [11]- **Gabrielle LELAIZANT**. *Etude des Sursauts Gamma à partir des neutrinos des haute –énergie avec le télescope ANTARES – Analyse du positionnement acoustique du détecteur*.University DE LA MEDITERRANEE AIX6MARSEILLE II.(2008).
- [12]- **Corentin LE GALL**. *Simulation de gerbes atmosph'ériques et d'efinition de l'acquisition des stations locales pour l'expérience Pierre Auger*. Universit'e Paris 7.(1991).
- [13]- **J. Blümer, R. Engel, and J. R. Hörandel**. *Cosmic Rays from the Knee to the Highest Energies*. arXiv astro-ph/0904.0725.(2009).
- [14]- **J. Candia, E. Roulet, and L. N. Epele**. *Turbulent diffusion and drift in galactic magnetic fields and the explanation of the knee in the cosmic ray spectrum*. Journal of High Energy Physics . (12:33, December 2002).

- [15]- T. Antoni, W. D. Apel, A. F. Badea, K. Bekk, A. Bercuci, J. Blümer, H. Bozdog, I. M. Brancus, A. Chilingarian, K. Daumiller, P. Doll, R. Engel, J. Engler, F. Feßler, H. J. Gils, R. Glasstetter, A. Haungs, D. Heck, J. R. Hörandel, K.-H. Kampert, H. O. Klages, G. Maier, H. J. Mathes, H. J. Mayer, J. Milke, M. Müller, R. Obenland, J. Oehlschläger, S. Ostapchenko, M. Petcu, H. Rebel, A. Risse, M. Risse, M. Roth, G. Schatz, H. Schieler, J. Scholz, T. Thouw, H. Ulrich, J. van Buren, A. Vardanyan, A. Weindl, J. Wochele, and J. Zabierowski. *KASCADE measurements of energy spectra for elemental groups of cosmic rays: Results and open problems*. *Astroparticle Physics*(24:1–25, September 2005).
- [16]-A. Zichichi .*Relativistic astrophysics and cosmology international school of cosmic ray* .astrophysics. (13th course series Erice , 2002) .
- [17]-Fisli Mohammed .*The effect of the magnetic field in the ground cosmic rays*.Université Batna.(2009).
- [18]-G. T. Zatsepin and V. A. Kuz'min. *Upper Limit of the Spectrum of Cosmic Rays*. *JETP Lett.*(4:78, 1966).
- [19]-Abraham, J, et al. (Pierre Auger Collab). *Observation of the suppression of the flux of cosmic rays above 4. 10¹⁹eV*. *Phys. Rev. Lett* .arXiv astro ph/0806.4302. (101:061101, 2008).
- [20]-P. Assis, D. D'Urso, R. Engel, P. Gonçalves, F. Guarino, S. Müller, L. Nozka, S. Petrera, M. Pimenta, F. Salamida, F. Schüssler, B. Tomé, R. Ulrich, M. Unger, and L. Valore. *FD simulation, offline reference manual*. Auger internal note.(2012).
- [21]-C. Berat, S. Bottai, D. De Marco, S. Moreggia, D. Naumov, M. Pallavicini, R. Pesce, A. Petrolini, A. Stutz, E. Taddei, and A. Thea. *ESAF: Full simulation of space-based extensive air showers detectors*. *Astroparticle Physics Volume*. 33:221–247. (July 2009).
- [22]-EUSO Collaboration. *EUSO Red Book, Report on the Phase A Study*, EUSO-PI-REP-005. (2004).
- [23]-JEM-EUSO Collaboration. *Report on the Phase A study*.(2010).
- [24]- M. Nagano et al. *Astropart. Phys.* 22 .(2004).
- [25]- F. Kakimoto et al., *Nucl. Instr. Meth.* (1996).
- [26]- S.M. Seltzer , M.J. Berger, *Int. J. of Applied Rad.* (1984).
- [26]- S.M. Seltzer , M.J. Berger, *Int. J. of Applied Rad.* (1984).
- [27]-U.S. Standard Atmosphere 1976, *U.S. Government Printing Office*. Washington. (1976).
- [28]- Matthias Blaicher. *End-to-end simulation of the Extreme Universe Space Observatory (EUSO)*. *Institut für Experimentelle Kernphysik*.(2012).

الملخص

الأشعة الكونية عبارة عن جسيمات تأتي من أماكن عديدة من الكون البعيد. تتفاعل مع الغلاف الجوي للكرة الأرضية فتشكل شلالات هوائية، تتكون من مختلف الجسيمات بما فيها فوتونات الفلورة و شيرونكوف.

يمكن الكشف عنها بواسطة مرصد أرضية واسعة المساحة غير أنه تم اقتراح جيل جديد من المراصد الفضائية يمكنها تغطية مساحات أكبر للغلاف الجوي فنجد تليسكوب JEM-EUSO المشروع الدولي والذي سيتم تركيبه على متن المحطة الفضائية الدولية ISS .

الكلمات المفتاحية: الأشعة الكونية ؛ الشلالات الهوائية ؛ تليسكوب JEM-EUSO ؛ الفلورة.

Résumé

Les rayons cosmiques sont des particules qui atteignent la Terre en provenance de différentes sources dans l'Univers.

L'interaction des rayons cosmiques dans l'atmosphère produit des gerbes atmosphériques de rayons cosmiques secondaires composé de plusieurs types de particules, parmi lesquelles on trouve les photon de fluorescence et de Čerenkov.

Ces rayons cosmiques secondaires sont détectés par des détecteurs au sol occupant de grandes surface. Ils pourraient également être détecté par des détecteurs placé sur la station spatiale internationale ISS, tel que l'observatoire JEM –EUSO , qui sera placé dans station spatiale internationale ISS.

Mots clés : rayons cosmiques ; gerbes air ; l'observatoire JEM –EUSO ; fluorescence

Abstract

High energy cosmic rays are particles reaching Earth from different sources in the Universe.

Their interactions in the atmosphere produce cosmic rays air showers that contains many types of particles, Among which are the photon fluorescence and Čerenkov.

their detection is possible thanks to ground detectors. It is also possible and better to detect cosmic rays air shower using spatial detector as JEM-EUSO

Or International Space Station ISS.

Key words: cosmic rays; air showers; telescopes JEM-EUSO ; fluorescence