

الرقم...../2016.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
كلية العلوم
قسم الفيزياء

مذكرة
مقدمة لنيل شهادة

الماستر

الميدان : علوم المادة
الشعبة : الفيزياء

التخصص : فيزياء الجسيمات عالية الطاقة

من طرف

بوعلام عائشة
العنوان

دراسة خصائص الرصد الراديوي
للأشعة الكونية

المناقشة بتاريخ : 2016/06/04

أمام اللجنة المكونة من :

رئيسا	جامعة المسيلة	أ. محاضر أ	أ. بوساهل منير
مقررا	جامعة المسيلة	أ. محاضر ب	أ. قالي سهام
ممتحنا	جامعة المسيلة	أ. مساعد أ	أ. صبري يوسف

دفعة جوان 2016

كلمة شكر و تقدير ...

حمدنا وثناءنا أولا وأخيرا لله عز وجل على كرم فضله و جزيل نعمه

على أن وفقنا في انجاز هذا العمل

و إن لمن مكارم الأخلاق و الاعتراف بالجميل نبادر و نتقدم بخالص شكرنا

و امتنانا للأستاذة المشرفة : قالي سهام

التي لم تبخل علينا بنصائحها و توجيهاته القيمة

و الأساتذة المناقشين

لقبولهم مناقشة مذكرتي

كما نتقدم بالشكر لكل المعلمين و الأساتذة الذين أوصلونا لهذا

ونشكر كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد في إنجاز هذا العمل و لو بكلمة طيبة

وإلى كل أساتذة معهد الفيزياء على وجه الخصوص .

إهداء

بعد إتمام هذا العمل المتواضع لا يسعنا إلا أن نحمد الله عز وجل ، فاتح الأبواب وميسر الصعاب و الهادي إلى الصواب ، نحمده ونشكره لنكون ممن قال فيهم

(ولئن شكرتم لأزيدنكم)،فيا ربي لك الحمد فزدنا

اهدي ثمرة جهدي إلى من كانوا سببا في وجودنا ، أرواحهم لا تفارق أرواحنا ودعائهم سر نجاحنا ، الذين يعجز اللسان عن وصف جميلهم و فضلهم الكبير في ما وصلنا إليه إلى القلوب الرحيمة ، والوجوه الباسمة ، و القدوة الحسنة ، إلى الذين اعتز بالانتساب إليهم و أرى فيهما مثلي الأعلى

والدين العزيزين

أطال الله في عمرهما

إلى أخواتي العزيزات : نجمة و خيرة و مبخوتة و اربيحة و فاطمة و احدودة ، و إلى إخوتي الكرماء : مراد وإسماعيل و بولرباح و أحمد و اعمارة رعاهم الله ، و إلى كل العائلة

إلى زوجي الغالي : لطفي ، و إلى عائلتي الجديدة حفظهم الله

إلى كل صديقاتي وكل من يعرفني .

إلى كل من ساهم في إنجاز هذا العمل ولو بالجهد القليل أو الكلمة الطيبة .

إلى كل أساتذة و طلبة الفيزياء .

إلى كل محب لوطنه وغيور على دينه .

على كل هؤلاء أهدي ثمرة هذا الجهد .

الفهرس :

1.....مقدمة

1- الفصل الأول : تعريفات و مفاهيم

1-1-1-عموميات حول الكهرومغناطيسية 3

1-1-1-الأطياف الكهرومغناطيسية 3

1-1-2-القوى الكهرومغناطيسية 4

1-1-3-الأمواج الراديوية 4

2-1-المغناطيسية الأرضية 5

3-1-مفعول ASKARYAN 7

1-4-1-تعريف الأشعة الكونية 7

2-4-1-الأشعة الكونية الابتدائية 8

3-4-1-الأشعة الكونية الثانوية 9

4-4-1-الطيف الطاقوي 10

5-4-1-رصد الأشعة الكونية 10

6-4-1-الغلاف الجوي 10

7-4-1-الشلالات الهوائية 11

8-4-1-آثار مرور الأشعة الكونية في الغلاف الجوي 12

9-4-1-مراسد الأشعة الكونية (الراديوية) 13

2- الفصل الثاني : دراسة المركبة الراديوية في الشلالات الهوائية للأشعة الكونية

1-1-2-الخطوات الأولى للكشف عن الأشعة الكونية بأشعة الراديو 14

2-1-2-النموذج النظري الحالي 15

1-2-1-2-النموذج الميكروسكوبي 15

2-2-1-2-النموذج الماكروسكوبي 17

18.....	2-2- مبدأ كواشف إشعاع الراديو الجديدة
18.....	2-2-1- محطة النموذج الأولي LOPES
19.....	2-2-2- تجربة CODALEMA 1
21.....	2-2-3- تجربة CODALEMA 2
23.....	2-3- معادلة Allan
25.....	2-4- دراسة نظرية لخواص السعة الكهربائية انطلاقا من معادلة Allan
3- الفصل الثالث : دراسة إمكانية الرصد الراديوي للأشعة الكونية في منطقة الحضنة	
30.....	3-1- برنامج Aires
34.....	3-2- دراسة إمكانية إنشاء مرصد للمركبة الراديوية للأشعة الكونية في منطقة الحضنة
41.....	خاتمة
42.....	المراجع

مقدمة :

إن رصد الأشعة الكونية التي تصل إلى الأرض من كل أرجاء الكون يتم بعدة طرق و ذلك حسب طبيعة هذه الجسيمات و طاقتها . فالجسيمات ذات الطاقات العالية تمتاز بضعف تدفقها وبذلك استعملت مرصد في الأرض لرصد الجسيمات الثانوية الناتجة عن تفاعلها مع جزيئات الغلاف الجوي و هذا هو الرصد غير المباشر .

الرصد الراديوي اقترح من طرف العالم ASKARYAN في سنة 1962 لكن لم يثبت تجريبيا إلا في سنة 2000 . و كانت فكرته تعتمد على أنه عندما تخترق جسيمة بسرعة اكبر من سرعة الضوء وسط ما تقوم بإصدار إشعاع في المجال الراديوي . ثم بعد ذلك اقترح وجود تطور للشلالات الهوائي لوجود فائض شحنات سالبة ناتج عن اختفاء البوزترونات لتفاعلها مع إلكترونات الغلاف الجوي . و قد طرحت في الأخير عدة تجارب للرصد الراديوي (radiodetection) للشلالات الكونية من طرف العالمين Khan و Lerche ظهر فيها أن الحقل الكهربائي الراديوي الصادر عن الشلال مرتبط بتأثير الحقل المغناطيسي الأرضي على جسيمات الشلال . و تم تطبيق هذه الفكرة في التجربتين LOPES و CODALEMA في بداية سنوات 2000 .

في هذه المذكرة سنتطرق إلى الرصد الراديوي للأشعة الكونية ، ففي الفصل الأول سوف نطرح شرح مختصر للأطياف و القوى الكهرومغناطيسية وأشعة الراديو ثم الأشعة الكونية و كيفية تطورها أو تفاعلها إلى أن تصل للأرض .

أما في الفصل الثاني فسوف نقوم بطرح النموذج النظري الحالي لرصد المركبة الراديوية للأشعة الكونية والذي ينقسم إلى النموذجين الميكروسكوبي و الماكروسكوبي بالإضافة إلى شرح مبدأ عمل تجربتي LOPES و CODALEMA . وشرح علاقة Allan ، مع حساب السعة الكهربائية انطلاقا منها و ذلك عبر تغيير مختلف الوسائط المتحكمة فيها بقيم مستعملة في تجارب سابقة .

و في الأخير أي في الفصل الثالث سندرس إمكانية إنشاء مرصد راديوي في منطقة الحضنة وهذا بدراسة نتائج محاكاة رصد الأشعة الكونية في هذه المنطقة و مميزات المرصد و مقارنتها بنتائج تجارب أجريت سابقا .

الفصل الأول :
تعريفات ومفاهيم

1-1-1-1-1 : عموميات حول الكهرومغناطيسية :

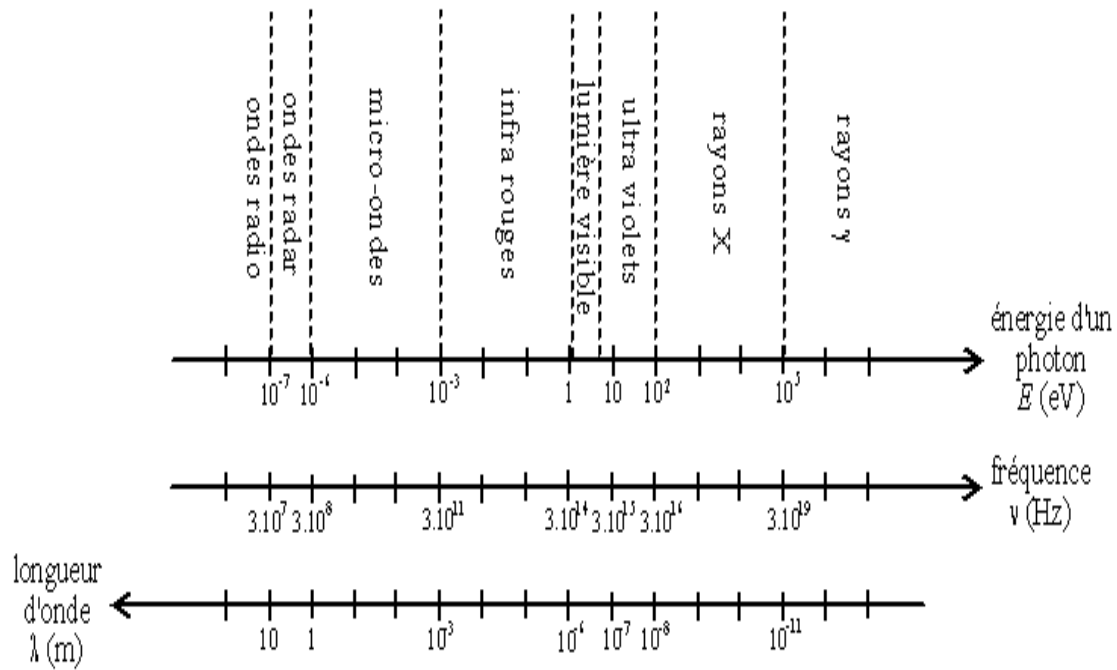
1-1-1-1-1 : الأطياف الكهرومغناطيسية :

الأمواج الكهرومغناطيسية لها مجال واسع من الترددات (و أطوال الموجات)، و نسمي هذه المجموعة من الترددات بالأطياف الكهرومغناطيسية .

وتتكون من أشعة الراديو و أشعة micro-onde و الأشعة تحت الحمراء و أشعة الضوء المرئي و الأشعة فوق البنفسجية و أشعة X و أشعة γ . الشكل -1-

أما أشعة الراديو فهي تسمية استعملت لجزء من الطيف الكهرومغناطيسي للأمواج الناتجة عن تطبيق تيار متناوب في عمود هوائي . يمتد تردد أمواج الراديو من 3 Hz إلى $3 \cdot 10^7$ Hz .

عندما نتحدث عن أشعة الراديو غالبية الناس يفكرون في الإذاعة (la radio FM) التي تستعمل تردد قريب من 100 MHz . [1]



الشكل -1- ترتيب الأمواج الكهرومغناطيسية حسب طول موجة وتردد و طاقة الفوتونات

1-1-2- القوى الكهرومغناطيسية :

القوى الكهرومغناطيسية هي القوى بين الشحن الكهربائية و التيارات . بحيث القوة الكهربائية هي القوة بين الشحن الكهربائية و عبارتها :

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} \quad (1)$$

و القوة المغناطيسية هي القوة بين التيارات الكهربائية و عبارتها :

$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{V} \times \vec{B} \quad (2)$$

الإلكترونات هي جسيمات تحمل شحن كهربائية سالبة ، و توجد أيضا جسيمات أخرى لكن الإلكترونات هي المسؤولة عن ما نهتم به أي نشأة الأمواج الراديوية .

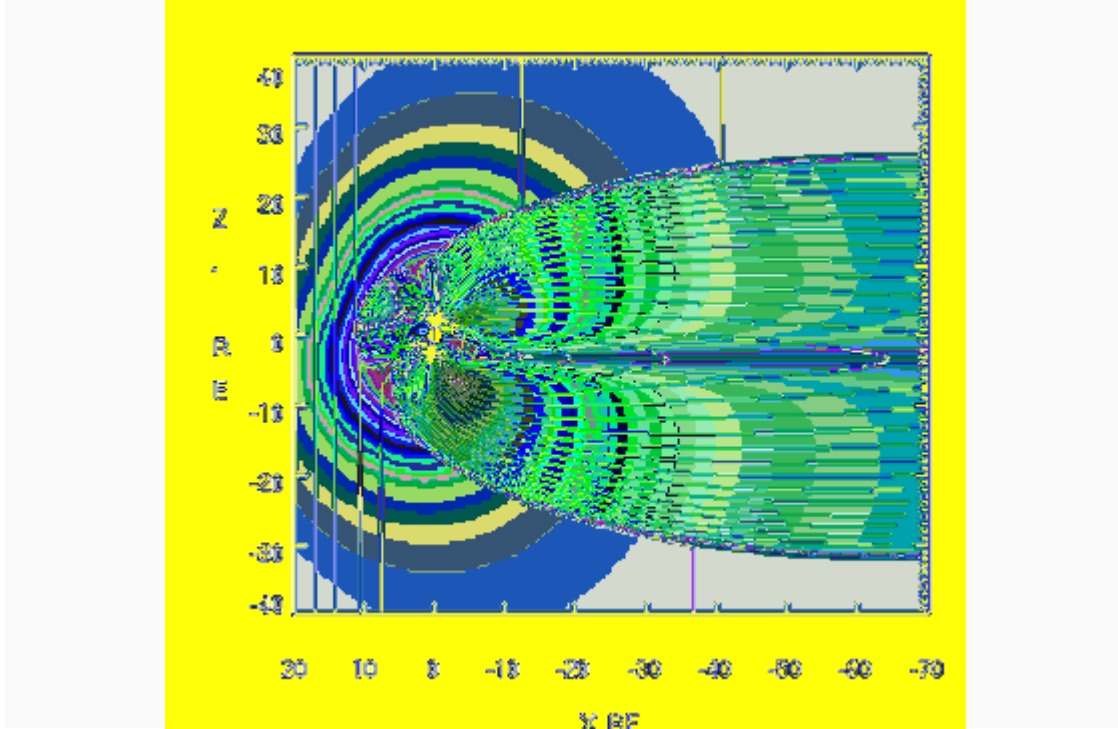
1-1-3- الأمواج الراديوية :

* الأمواج الأكثر طولاً تذهب أبعد :

في المستويات المتساوية القدرة (puissance) الأمواج الأكبر طولاً أي (تردد أقل) يمكن أن تذهب بعيداً بالمقارنة بالأمواج الأقل طولاً (تردد أكبر) وهذا التأثير في الأغلب لوحظ في الإذاعة (la radio FM) عند مقارنة مجال إرسال (la gamme d'un émetteur) في 88MHz بمجموعة في 108 MHz .

* الأمواج الأكثر طولاً تجتاز العوائق :

إشارات الراديو FM (88 – 108 MHz) يمكنها الانتقال بسهولة فهي لا تتأثر بالعوائق بالمقارنة بإشارات الهاتف GSM (الأرضي 900 - 1800 MHz) التي لا تستطيع فعل ذلك لقصر طول موجتها . [1]



الشكل - 2- محاكاة التفاعل بين الحقل المغناطيسي الأرضي و الحقل المغناطيسي بين كواكبي .

2-1- المغناطيسية الأرضية : (Earth Magnetism)

هناك نظريات عديدة منها التي تقول بأن الأرض تحتوي على رواسب كثيرة من خامات الحديد وبعض هذه الرواسب عبارة عن حديد نقي تقريبا. يعتقد أنه في أحقاب قديمة تمغنطت جميع هذه الرواسب الحديدية تدريجيا في اتجاه واحد، فكانت مغناطيس دائم كبير جدا .

وهناك نظرية أخرى تقول أن المغناطيسية الأرضية ناشئة من تيارات كهربائية شديدة تسري في القلب الخارجي السائل للأرض والتي تتكون من حديد منصهر . ينشأ عنها مجال مغناطيسي يعمل بدوره على توليد تيار كهربائي وتعمل بدورها على نشأة مجال مغناطيسي طبقا لقانون أمبير، كما تؤثر المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية وتنتج قوة لورانتز التي تؤثر على الشحنات التي تسري في التيارات الكهربائية . تلك النظرية هي التي يتقبلها كثير من العلماء وفي إمكانها تفسير انقلابات المجال المغناطيسي للأرض عبر عدة عصور قديمة، حيث تبين البحوث الجيولوجية أن القطب الشمالي كان قطبا جنوبيا والقطب الجنوبي كان شماليا، ومن تلك الانقلابات انقلاب حدث قبل نحو 780.000 سنة.

لتحديد قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي يجب معرفة خطوط الطول والعرض . أما حاليا فيمكننا تحديدها باستعمال الموقع : <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> وذلك في كل أنحاء الأرض . (ندخل أولا إلى الموقع الشكل - 3- ثم ندخل اسم البلد والمنطقة بالضبط الشكل - 4- وبعدها ننقر على تعليمة حساب لتظهر لنا النتائج كما هو موضح في الشكل - 5-)

www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Geomagnetism

Magnetic Field Calculators

Declination U.S. Historic Declination **Magnetic Field** Magnetic Field Component Grid

Magnetic Field Estimated Values

Magnetic field is calculated using the most recent **World Magnetic Model (WMM)** or the **International Geomagnetic Reference Field (IGRF)** model. For 1590 to 1900 the calculator is based on the **gufm1** model. A smooth transition from gufm1 to IGRF was imposed from 1890 to 1900. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, or CSV programmatically (API). For more information click the information button above.

Calculate Magnetic Field

Latitude: S N

Longitude: W E

Elevation: ☐ GPS ☒ Mean sea level

Kilometers

Model: ☒ WMM (2014-2019) ☐ IGRF (1590-2019)

Start Date: Year Month Day

Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at USGS Earth Explorer.

U.S. Zip Code:

- OR -

Country:

City:

Get & Add Lat / Lon

الشكل - 3

www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Geomagnetism

Magnetic Field Calculators

Declination U.S. Historic Declination **Magnetic Field** Magnetic Field Component Grid

Magnetic Field Estimated Values

Magnetic field is calculated using the most recent **World Magnetic Model (WMM)** or the **International Geomagnetic Reference Field (IGRF)** model. For 1590 to 1900 the calculator is based on the **gufm1** model. A smooth transition from gufm1 to IGRF was imposed from 1890 to 1900. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, or CSV programmatically (API). For more information click the information button above.

Calculate Magnetic Field

Latitude: S N

Longitude: W E

Elevation: ☐ GPS ☒ Mean sea level

Kilometers

Model: ☒ WMM (2014-2019) ☐ IGRF (1590-2019)

Start Date: Year Month Day

End Date: Year Month Day

Step size:

Result format: ☒ HTML ☐ XML ☐ CSV

Calculate

Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at USGS Earth Explorer.

U.S. Zip Code:

- OR -

Country:

City:

Get & Add Lat / Lon

Questions: geomag.models@noaa.gov

Home | Contacts | Data | Disclaimers | Education | News | Privacy Policy | Site Map | Take Our Survey | FAQ | Today's Space Weather

الشكل - 4

الشكل -5-

3-1- مفعول ASKARYAN:

هو ظاهرة فيزيائية مشابهة لمفعول TCHERENKOV . يحدث مفعول ASKARYAN في أوساط عازلة كهربائيا diélectriques وكثيفة مثل الجليد ، الرمل... اقترح من طرف GURGEN ASKARYAN في سنة 1962 ، ولم تثبت تجريبيا إلا في سنة 2000 . [2]

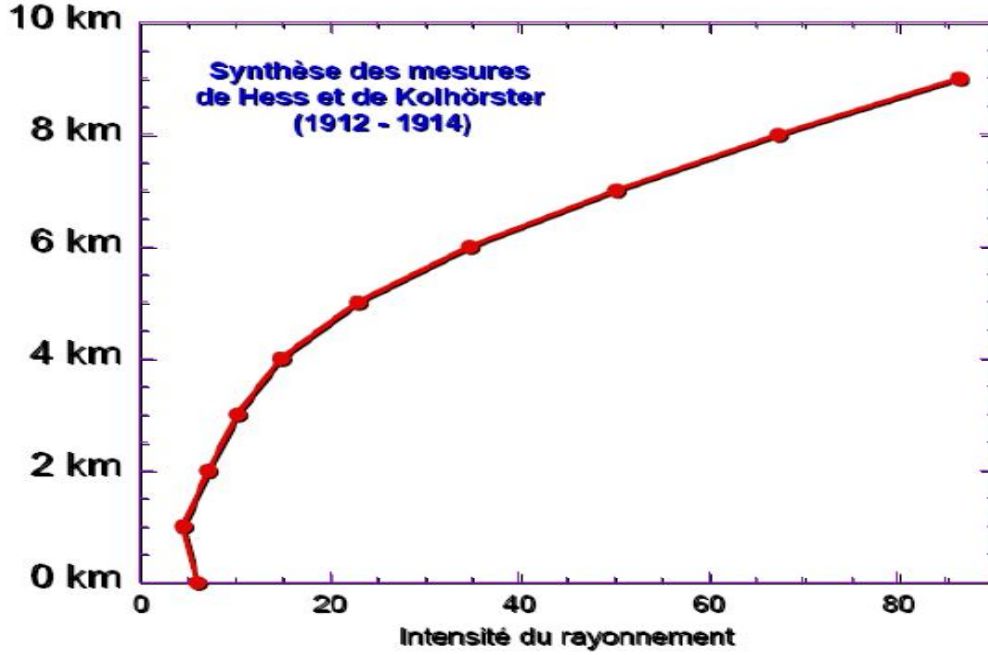
و هو يحدث لما تنتقل جسيمة بسرعة اكبر من سرعة الضوء في وسط معين تقوم بإصدار إشعاع متجانس في المجالات الراديوية والأمواج من رتبة الميكرون (micro-onde) على شكل مخروط يظهر في التصوير الإشعاعي ، وتستغل في بعض التجارب مثل ANITA Antarctic Impulse Transient Antenna (The في القطب الجنوبي) من اجل رصد النيتريو عالي الطاقة .

لكن هناك صعوبة في رصده تكمن في تداخل الأشعة الراديوية الناشئة من هذه الجسيمة المشحونة و الأشعة الناتجة عن الفضاء الخارجي (من الشمس أو الكواكب والمجرات الأخرى) بالإضافة إلى أشعة محطات الإذاعات وأجهزة الاتصال .

1-4-1- تعريف الأشعة الكونية :

الأشعة الكونية هي جسيمات تأتي إلى الأرض من كل أرجاء الكون وتتفاعل داخل الغلاف الجوي . بحيث تتكون الأشعة الكونية أساسا من البروتونات (85%) و أنوية الهليوم (12%) أما الإلكترونات والفوتونات و الأنوية الثقيلة بنسب ضئيلة جدا.

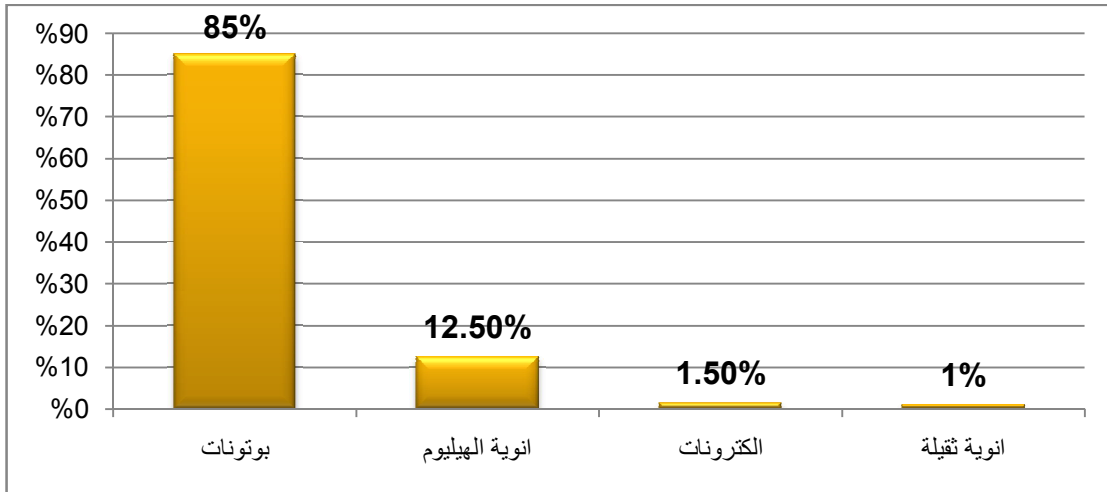
تم اكتشاف الأشعة الكونية سنة 1912. من قبل العالم النمساوي Hess، بحيث استخدم منطاد على ارتفاعات عالية فوجد زيادة في الإشعاعات المتأينة مع زيادة الارتفاع ، واستنتج أن مصدر التأين هو وجود أشعة آتية من الفضاء الخارجي (الشكل -6-). بحيث توصل العالم Millikan إلى صحة ما أكتشفه Hess وهو من أطلق على الأشعة المتأينة اسم الأشعة الكونية [3,4,5,6] .



الشكل- 6 - يمثل شدة الإشعاع بدلالة الارتفاع لتجربة Hess.

1-4-2- الأشعة الكونية الابتدائية :

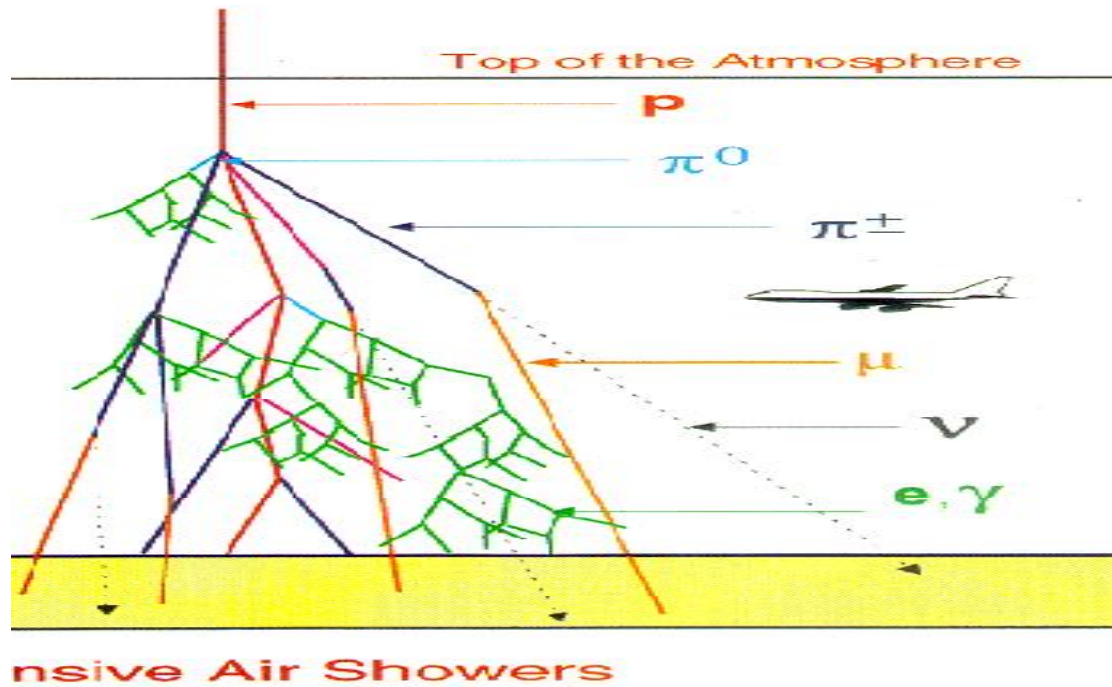
الشعاع الكوني الابتدائي هو جسيمة قادمة من جرم قريب كالشمس أو بعيد كأحد أجرام المجرات الأخرى . وقد تكون هذه الجسيمة أحد أنوية العناصر الموجودة في الجدول الدوري (الشكل - 7-).



الشكل - 7- مدرج يمثل مكونات الأشعة الابتدائية بالنسب المئوية

1-4-3- الأشعة الكونية الثانوية :

تتكون الأشعة الكونية الثانوية نتيجة التفاعل بين الأشعة الابتدائية و جسيمات الغلاف الجوي وتتكون أساسا من الميونات وكذلك يوجد البوزيترونات والنيوترونات والفوتونات (مع وجود بقايا الأشعة الكونية الابتدائية) (الشكل - 8).



الشكل - 8- تشكل الأشعة الكونية الثانوية على مستوى الغلاف الجوي .

1-4-4- الطيف الطاقوي:

للأشعة الكونية امتداد واسع عبر طيف طاقي تمتد فيه الطاقة ما بين 10^6 - 10^{21} يعبر الطيف عن التدفق التفاضلي بدلالة الطاقة (وهو عدد الجسيمات التي تملك طاقة محصورة ما بين E و $E+dE$) فهو يتغير مع الطاقة حسب :

$$\frac{dN}{dE} = E^{-\gamma} \quad (3)$$

حيث : N عدد الجسيمات و dN التغير في عدد الجسيمات المتدفقة

E الطاقة الحركية و dE التغير في طاقة الجسيمات المتدفقة

γ الدليل الطيفي

1-4-5- رصد الأشعة الكونية:

من أجل التعرف على مكونات الأشعة الكونية وقياس التدفق نقوم بالرصد وهناك طريقتين لذلك :

الرصد المباشر:

هنا يكون رصد الجسيمات التي طاقتها أقل من 1 Pev ($10^{15} \text{ ev} = \text{Péta ev}$). تحدد الأجهزة المستعملة كتلة وشحنة الجسيمات من خلال قياس المقادير الحركية لها (مثل الطاقة و السرعة).

الرصد غير المباشر :

هنا يكون رصد الجسيمات عالية الطاقة فهي تتميز بضعف تدفقها بحيث ترصد انطلاقا من المحطات الأرضية . و يتم رصد الشلالات الهوائية المتكونة من ملايين الجسيمات الناتجة عن تفاعل الأشعة الكونية الأولية في الغلاف الجوي .

و تختلف مصادر الأشعة الكونية حسب الطيف الطاقوي : فالأشعة التي طاقتها أقل من 10^{15} ev تكون ناتجة عن النشاط الشمسي والأجرام الفلكية الموجودة في مجرتنا . أما الجسيمات فائقة الطاقة فمصدرها يشكل أحد أهم الأسئلة في الفيزياء الفلكية .

1-4-6- الغلاف الجوي :

الغلاف الجوي هو وسط ذو طبيعة غازية بحيث يتكون من 78.08 % جزيئات الازوت و 20.95 % جزيئات الأكسجين و 0.93 % من الأرقون و 0.036 % من غاز الكربونيك أما الغازات الأخرى فتمثل نسب ضئيلة جدا . وأيضاً 90% من كتلته تتواجد على ارتفاع 18 Km

من سطح البحر والكتلة المتبقية موجودة ارتفاع 32 Km . ومع جسيماته تتفاعل الأشعة الكونية الابتدائية .

ويتكون الغلاف الجوي من ستة طبقات تتداخل في بعضها مما يجعل الفصل بينها غير ممكن تقريبا وهذه الطبقات هي : [6]

1. طبقة التروبوسفير Troposphere : يتراوح ارتفاع هذه الطبقة بين 8 و 11 Km .
2. طبقة الستراتوسفير Stratosphere : تمتد من 20 إلى 50 Km فوق سطح البحر .
3. طبقة الميزوسفير Mésosphere : تمتد هذه الطبقة من 50 إلى 80 Km .
4. الطبقة الحرارية Thermosphere : يتراوح الارتفاع فيها عن سطح البحر ما بين 506 Km عندما تكون الشمس نشيطة و 750 Km عندما تكون الشمس هادئة .
5. طبقة الأيونوسفير Ionosphere : تمتد من ارتفاع 80 Km تقريبا و حتى 360 Km أو أكثر .
6. طبقة الإكزوسفير Exosphere : تمتد فوق الطبقة الحرارية وحتى نهاية الغلاف الجوي عند ارتفاع يناهز 64400 Km .

1-4-7- الشلالات الهوائية :

تنتج عن تفاعل جزيئات الغلاف الجوي مع جسيمات الأشعة الكونية الابتدائية و يليه سلسلة من التفاعلات ينتج عنها جسيمات ثانوية . ويوجد نوعين من السلاسل :

1-4-7-1- السلاسل الكهرومغناطيسية :

تمثل سلسلة التفاعلات التي تشمل الفوتونات و الإلكترونات و البوزترونات عالية الطاقة :و من أهم الظواهر التي تحدث في هذه السلسلة : خلق الزوج $e^+ e^-$ و إشعاع الكبح.

الزوج $e^+ e^-$: création de paire

ينتج الزوج من تفاعل الفوتون مع حقل كهربائي لجسيمة مشحونة خلال اختراقه للغلاف الجوي . وذلك من أجل فوتون طاقته أكبر أو تساوي $2MC^2$. يلي هذا التفاعل مباشرة إخماد الزوج حيث البوزترونات الناتجة تتفاعل مع إلكترونات الوسط فينتج لنا زوج من الفوتون طاقة كل واحد منهما 0.511 Mev .

إشعاع الكبح : Bremsstrahlung

تتسارع الجسيمات أو تتباطأ في الغلاف الجوي بفعل الحقل الكولمبي وهذا ما يؤدي إلى بعث فوتونات وهذا ما يدعى بظاهرة الكبح . و تعتبر الإلكترونات و البوزترونات من أكثر الجسيمات تأثرا بهذه الظاهرة .

1-4-7-2- السلاسل الهادرونية :

السلسلة الهادرونية تتكون من الجسيمات الناتجة عن تفاعل النيوكليونات أو الأنوية مع جزيئات الهواء ، وهي البيونات (π^0 ، $\pi^\pm$) و الكاونات (K^0 ، $K^\pm$). حيث تمثل البيونات الأغلبية العظمى للجسيمات .

تتكون المركبة الهادرونية من سلسلة كهرومغناطيسية تنتج عن تفكك البيونات المتعادلة كهربائيا و من سلسلة هادرونية تنتج من تفكك الكاونات و البيونات المشحونة .

تتواجد الهادرونات عالية الطاقة في قلب الشلال بحيث تغذي الأجزاء الكهرومغناطيسية باستمرار.

من أجل دراسة الشلالات وتطورها نعرف مميزات الشلال التالية :

المحور : محور الشلال هو المستقيم الموافق للمسار الذي تتركه الجسيمة الابتدائية الواردة لو أنها لم تتفاعل ، وهو أيضا اتجاه وصول جسيمات الشلال إلى الأرض بحيث تنتشر الجسيمات الثانوية بصفة كلية حوله .

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

الجبهة : هي مجموعة الجسيمات الثانوية المنتشرة نحو الأرض بسرعة تقارب سرعة الضوء .

التوزيع العرضي : هو توزيع عدد الجسيمات بدلالة البعد عن محور الشلال وبالتالي تتعلق بطبيعة و طاقة الجسيمة الابتدائية و أيضا زاوية الرأس . الانتشار العرضي للشلال أساسي في الانتشار المضاعف حيث تخضع الجسيمات المشحونة لحقل Colomb في الغلاف الجوي ، فالإلكترونات تمثل المركبة الأكبر عددا وأكثر انحرافا من الميونات ، إذن هو الذي يتحكم في المركبة الكهرومغناطيسية (الإلكترون ، البوزترون ، الفوتون) ، يقل عدد الجسيمات بزيادة البعد على المحور ، وهو مهم لمعرفة الطاقة الابتدائية للجسيمات الكونية .

التوزيع الطولي : هو تغير عدد الجسيمات في الشلال الهوائي بدلالة عمق الغلاف الجوي . وتتم دراسة تطوره في مختلف طبقات الغلاف الجوي عن طريق زيادة عدد الجسيمات التي تصل إلى حد أعظمي N_{max} و توافق عمق معين يدعى العمق الأعظمي X_{max} . ويقاس بدلالة إشعاع الفلورة الذي يبعث على مدى طويل في الغلاف الجوي .

1-4-8- آثار مرور الأشعة الكونية في الغلاف الجوي :

إشعاع الفلورة Fluorescence light :

الجسيمات المشحونة تتفاعل على طول تطور الشلال مع جزيئات الازوت في الغلاف الجوي وبذلك تصبح هذه الأخيرة مثارة وغير مستقرة . ومن أجل أن تستقر تصدر إشعاع وهو ما يسمى بإشعاع الفلورة ويصدر في المنطقة فوق البنفسجية حيث الطول الموجي لها محصور بين $[300nm$ و $400nm]$. فيمكننا تعقب تطور الشلال لكن هذا لا يحدث إلا ليلا .

إشعاع TCHERENKOV :

هو عبارة عن إشعاع ينبعث عندما تعبر جسيمة في وسط معين بحيث تكون سرعتها أكبر من سرعة الضوء في هذا الوسط . وبما أنها تتفاعل مع وسطها (تخسر جزء من طاقتها) فإنها تولد ضوءا خافتا يسمى إشعاع TCHERENKOV الذي يكون في الطيف فوق البنفسجي أو الأزرق .

1-4-9- مرصد الأشعة الكونية (الراديوية) :

تعتمد هذه المراصد على رصد المركبة الراديوية الناتجة عن الأشعة الكونية من أجل التعرف على مكوناتها . وهي تعتبر من طرق الرصد غير المباشر . أما تفصيل مبدأ العمل فسنتطرقه في الفصل الموالي .

الفصل الثاني :

**دراسة المركبة الراديوية في الشلالات
الهوائية للأشعة الكونية**

2-1-1- الخطوات الأولى للكشف عن الأشعة الكونية بأشعة الراديو :

دراسة الأشعة الكونية كانت في بداية سنة 1950 وخاصة الكشف على الشلالات الهوائية فقد تمحورت حول استخدام شبكات السطح surface والتي كانت في البداية عدادات Geiger و في وقت لاحق كواشف الإشعاع scintillateurs . ثم اعتمد على مبدأ الكشف عن الضوء الصادر من جسيمات الشلال وكان ذلك عن طريق مفعول شرنكوف في سنة 1953 من طرف العالم Jelley وبعدها واجه عدة مشاكل فاضطر للجوء إلى الكشف بواسطة إشعاع الفلورة ثم ظهر مشكل الرصد بحيث لا تلاحظ إلا في الليل . في الأخير لتفادي كل هذه المشاكل تطرق Jelley للمجال الراديوي للموجات الكبيرة و تعتبر أول دراسة للكشف بأشعة الراديو بالبحث عن صدور إشعاع راديوي لشرنكوف لكنه اكتشف بأن قياسه في المجال الراديوي غير ممكن . ومن خلال عمل ASKARYAN الذي اقترح وجود تطور للشلال الهوائي لوجود فائض شحنات سالبة ناتج عن اختفاء البوزترونات لتفاعلها مع إلكترونات الغلاف الجوي ، وأيضاً وجود ذلك الفائض ناتج عن مفعول Compton . إذن وجود كل هذه الشحن السالبة ينفى وجود الإلكترونات و البوزترونات بنسب متساوية مثلما توقعها Jelley . [7]

بفرض وجود شلال هوائي يتكون من N جسيم ، وباعتبار إصدار إشعاع شرنكوف في المجال المرئي كل جسيم يصدر إشعاع شدته I_0 بحيث الشدة الكلية للإشعاع هي :

$$I_{opt} = N \cdot I_0 \quad (4)$$

وفي مجال الترددات الراديوية شدات الإشعاع لكل جسيم I_r في انسجام و الشدة الكلية هي :

$$I_{radio} = (\epsilon N)^2 \cdot I_r \quad (5)$$

بحيث : ϵN هو جزء من N ويمثل عدد الإلكترونات و ϵ من رتبة 0.1 (10 %)

و حاصل قسمة الشدات في مجالي الترددات هو :

$$\frac{I_{rad}}{I_{opt}} = (\epsilon^2 N) \cdot \frac{I_r}{I_0} \quad (6)$$

$$\frac{I_r}{I_0} \approx 10^{-7} \quad \text{حيث :}$$

$\epsilon^2 N$ معامل تحسين إصدار إشعاع شرنكوف للانسجام (من درجة 10^6 لوجود إلكترونات بنسبة 10 % و عدد الجسيمات في الشلال 10^8) سمح بجعل شدة إشعاع شرنكوف في المجال الراديوي من نفس قيمته في المجال المرئي . و بذلك أصبح الكشف بأشعة الراديو عن الشلالات الهوائية بواسطة أشعة شرنكوف الراديوية ممكن .

شدة الإشعاع هي طاقة الفوتونات في مجال معين و في وحدة مساحة معينة .

2-1-2- النموذج النظري الحالي :

يؤثر الحقل المغناطيسي الأرضي على الجسيمات المشحونة للشلال الهوائي بواسطة قوة Lorentz وهي تعرف كالتالي : [7]

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (7)$$

حيث :

q شحنة الجسيم

$\vec{B}$ الحقل المغناطيسي المطبق

$\vec{v}$ سرعة الجسيم

نعتبر أن الجسيمات التي تساهم في البداية في نشأة الحقل الكهربائي هي الإلكترونات و البوزيترونات فتأثير الحقل المغناطيسي الأرضي على الجسيمات الثقيلة مثل الميون ضعيف .

و لصدور تيار كهربائي محرض (émission électrique induit) تم اقتراح نموذجين مختلفين و هما :

*النموذج الأول : أو النوع الميكروسكوبي هنا حقل التيار الكهربائي المحرض (le champ électrique induit) هو مجموع الحقول الكهربائية Synchrotron الناتجة عن تسارع الجسيمات المشحونة لشلال تحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي . و تسمى هذه الظاهرة émission géosynchrotron .

*النموذج الثاني : يدرس الإصدار بواسطة تيار عرضي (courant transverse) لانحراف الجسيمات المشحونة . ويعتبر هذا النموذج النموذج الماكروسكوبي لصدور تيار كهربائي .

2-1-2-1- النموذج الميكروسكوبي :

كل الإلكترونات و البوزيترونات ذات شحنة e و سرعة v ، تظهر أثناء تطور الشلال الهوائي تكون تحت تأثير قوة Lorentz المتسببة في وجود الحقل المغناطيسي الأرضي على شكل تسارع a معرف بـ : [7]

$$a = \frac{e \cdot v \cdot B}{\gamma \cdot m_e} \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

حيث : α هي الزاوية بين الحقل المغناطيسي الأرضي و اتجاه شلال الجسيم .

إن تعريف الحقل géosynchrotron E هو في غاية التعقيد لكن في التقريب الأول في المجال النسبي نعتبر $V \approx c$ و معامل التأثير الأكبر b (paramètre d'impact b هو المسافة بين الراصد l'observateur و محور الشلال). وهذا الحقل يعرف كما يلي :

$$E(t, b) \propto N \cdot a \cdot b^2 \left(\frac{1}{(ct)^2} \right) \quad (9)$$

حيث : N هو عدد الجسيمات المشحونة الموجودة داخل الشلال ، هذا العدد يتغير أثناء تطور الشلال . وبالتالي من الضروري تمييز زمن الاستلام t (temps réception) عن زمن الخلق t' الذي يتعلق بتغير N . و العلاقة بين t و t' هي :

$$c \cdot t' = - \frac{b^2}{c \cdot t} \quad (10)$$

من النموذج الميكروسكوبي الحقل الكهربائي المحرض E هو يتعلق مباشرة بعدد الجسيمات المشحونة للشلال إذن يتعلق بالجسيمة الابتدائية .

صيغة الاندفاع (Forme de l'impulsion) :

خصائص الاندفاع هي :

*إشارة أحادية القطب .

*زمن الحصول على إشارة سريع جدا إلى غاية حوالي مائة نانو ثانية .

*السعة والزمن يتعلقان بمعامل التأثير ففي معامل تأثير صغير الاندفاع في غاية السرعة ومع سعة متزايدة جدا بالمقارنة بمعامل تأثير كبير حيث الاندفاع يكون ساكن . وقد اعتبر أن سعة الحقل تتغير مع b^{-4} و أن الزمن يتغير مع b^2 .

طيف التردد :

التطور الزمني لإصدار إشعاع géosynchrotron يتعلق بمعامل التأثير إذن طيفه الترددي من الضروري أن يتغير بدلالة نفس المعامل . و منه نستنتج أن إصدار إشعاع الراديو المحرض من شلال هوائي يمكن رصده لأنه منسجم أي أن طول موجة الإشعاعات الصادرة فرديا من كل واحدة من الجسيمات أقل من المسافة التي تفصل هذه الجسيمات وبذلك زيادة التردد .

استقطاب :

نتيجة تقنية الحقل المغناطيسي الأرضي لخلق حقل محرض ، لدينا إشعاع géosynchrotron مستقطب في الاتجاه العمودي على اتجاه انتشار الشلال و على محور الحقل المغناطيسي الأرضي وهذا الأخير متجه في الاتجاه شمال – جنوب ، أما استقطاب الشلال فهو عمودي على خط شرق – غرب .

2-2-1-2- النموذج الماكروسكوبي :

في نطاق إصدار أشعة الراديو بالتيار العرضي لدينا كثافة التيار الناشئة عن انحراف الجسيمات المشحونة تحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي ، و قد درس هذا النظام أساسا العالمين Werner و Scholten [7]

كثافة التيار J تتعلق بسرعة الانحراف المتوسط $\overline{V_d}$ ومتوسط الانحراف للإلكترونات و البوزترونات داخل شلال الجسيمات معرف بـ :

$$J = \frac{\overline{V_d} \cdot N \cdot e}{4 \cdot \pi \cdot e} \quad (11)$$

العلاقة المبسطة للحقل المحرض بتقنية التيار العرضي في نفس التقريبات التي استعملت في العلاقة المبسطة للحقل géosynchrotron (المجال النسبي و معامل التأثير الأكبر) تعرف بزم الخلق t' بـ :

$$E(t', b) \propto J \left(\frac{c \cdot t'}{b^2} \right)^2 \cdot \left(t' \cdot \frac{dN}{dt'} + N(t') \right) \quad (12)$$

الحقل المحرض بتقنية التيار المستعرض يتوافق مع عدد الجسيمات المشحونة إذن بطاقة الجسيمة الابتدائية مثلما هو الحال في الحقل géosynchrotron .

شكل الاندفاع :

على عكس ما هو في الحقل géosynchrotron ، الإشارة الكهربائية الناتجة من التيار العرضي على شكل ثنائي قطب و هو السبب في وجود العنصر $\frac{dN}{dt'}$ في علاقة الحقل العرضي . على الرغم من الأثر المختلف لنفس الظاهرة الفيزيائية إلا أنه لوحظ تعلق الإشارة بمعامل التأثير ففي النموذجين : السعة تتغير مع b^{-4} و الزمن يتغير مع b^2 .

طيف التردد :

التعلق بمعامل التأثير للحقل العرضي متوافق مع ذلك المتحصل عليه في حالة الحقل géosynchrotron فتصرف الأطياف بدلالة الترددات هو متماثل حيث نلاحظ تناقص الأطياف نحو الترددات المنخفضة بينما المعامل يتزايد . و يوجد هناك اختلاف في النموذجين فأطياف géosynchrotron الصادرة تتناقص خطيا بدلالة التردد أما الأطياف الصادرة المستعرضة فهي تتزايد خطيا إلى غاية قيمة عظمى قبل التناقص الخطي .

الاستقطاب (Polarisation) :

الاستقطاب في الحقل العرضي هو خطي ومتجه عموديا على محور اتجاه انتشار الشلال . الاختلافات الأساسية بين النموذجين الميكروسكوبي و الماكروسكوبي هي :

*الحقل الكهربائي أحادي القطب في حالة géosynchrotron وثنائي القطب في حالة التيار العرضي .

*الأطيف بدلالة التردد في تناقص خطي في حالة géosynchrotron أما في حالة التيار المستعرض فهي تتزايد ثم تتناقص .

*استقطاب شبه خطي في حالة géosynchrotron وخطي فقط في حالة التيار العرضي .
النموذجان يعملان على نفس ظاهرة خلق الحقل الكهربائي بتقنية الحقل المغناطيسي الأرضي بطريقتين مختلفتين . وقد اختير اندفاع أحادي القطب من اندفاع ثنائي القطب الذي هو في غاية الصعوبة من ناحية الرصد بكاشف أشعة الراديو لأنها تستعمل عملية ترشيح الإشارات رقمياً وبذلك تم تغيير شكل الاندفاع ، وقياس هذا الاندفاع بدون أي ترشيح آخر بالعمود الهوائي هو نفسه وضع سعة كبيرة جداً أو أن يكون التشويش في مساحة الذبذبات ضعيف جداً .

2-2- مبدأ كواشف إشعاع الراديو الجديدة :

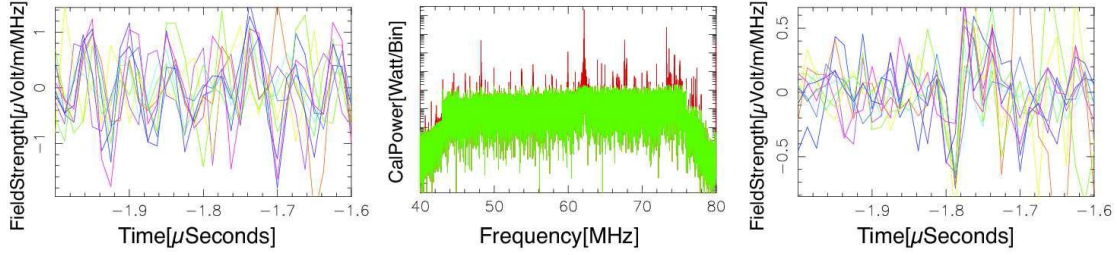
اكتشافات الأشعة الراديوية الأولى في الشلالات الهوائية تمت بواسطة كواشف شبكات أعمدة هوائية (antennes) وذلك في مساحة ذبذبات ضيقة نسبياً بعض ملايين هرتز (MHz) ، أما إشارات أشعة الراديو فقد لوحظت بواسطة كاشف الذبذبات L'Oscilloscope . و لتلك الشبكات عدد كبير من الأعمدة الهوائية ، والعديد من الإشارات تكون رقمية و متزامنة مثل ما لوحظ في المشاريع LOFAR و SKA . و بالتالي تسجيل الإشارات الناشئة من كل الفضاء أصبح جزئياً مفيد في تفسير ما يحدث من الظواهر من ناحية الأشعة الكونية (مثل SN و GRB ...) .

ومن جانب الأشعة الكونية ، الكشف بواسطة أشعة الراديو خلف نتائج جيدة نسبياً ، وهذا ما ألتبس في عدة تجارب من بينها LOPES في Karlsruhe (Allemagne) و CODALEMA في Nançay(France) . [8]

2-2-1- محطة النموذج الأولي LOPES : (LOFAR Prototype Station)

توجد تجربة LOPES في جامعة Karlsruhe Forchungszentrum ، فقد أطلقت جزء من شبكة الكواشف للجسيمات KASCADE . بحيث توجد هناك خلفية إشعاعية ، وهذا المحيط المشع له أثر سلبي على رصد الأشعة الكونية بحيث يكون هناك تشويش و لتفادي ذلك قاموا بترشيح الإشارات في رقعة الذبذبات التي أجريت عليها التجربة . وجهاز الراديو كان يتركب من 10 أعمدة هوائية موجهة شرق - غرب ثم أصبح يتركب من 30 عمود هوائي بعضها موجهة شرق - غرب والآخرين شمال - جنوب ، و امتداد هذه الشبكة حوالي 200 متر . أما إشارات الراديو الناتجة عن الشلال فلا تعالج بطريقة فردية بل إنها تجمع ثم تعالج وهي تقاس بواسطة شبكة KASCADE و تسمى تشكل الحزمة (beam-forming) .

التحليل والنتائج :



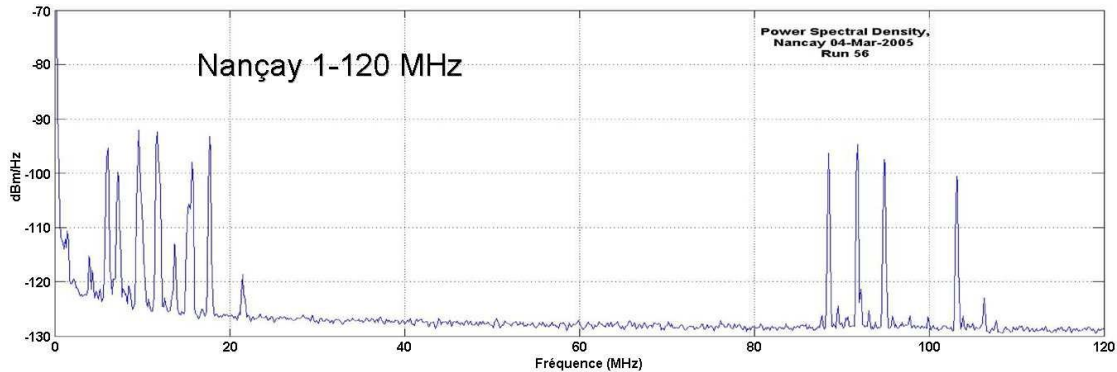
الشكل 9- تحليل أحداث LOPES. اليسار: إشارات غير مرشحة signaux bruts . الوسط :أطياف بترددات الإشارات قبل (أحمر) وبعد (أخضر) إزالة التشويش . اليمين : الإشارات المرشحة .

مثال على إشعاع الراديو الذي تم رصده في LOPES توضح بالشكل 9- . وهو يمثل إشارات غير مرشحة signaux bruts أطيافها بالترددات والإشارات المرشحة بعد تشكل الحزمة (beam-forming) ، بحيث إشارة الشلال توافق ذروة التسجيل عند (1.8-) ميكروثانية. النتائج الأساسية في LOPES مرتبطة مع الطاقة و مع اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي كما هو موضح في معادلة Allan .

2-2-2- تجربة CODALEMA 1 :

تجربة CODALEMA (Cosmic ray Detection Array with Logarithmic Electromagnetic Antennas) طورت عبر عدة مراحل . بحيث كانت على طورين : الطور الأول هو CODALEMA1 ما بين سنة 2003 و سنة 2005 ، و الطور الثاني هو CODALEMA 2 .

موضع الكاشف CODALEMA يتمركز في محطة علم الفلك الإشعاعي في Nançay ، ويقع في جنوب Sologne .



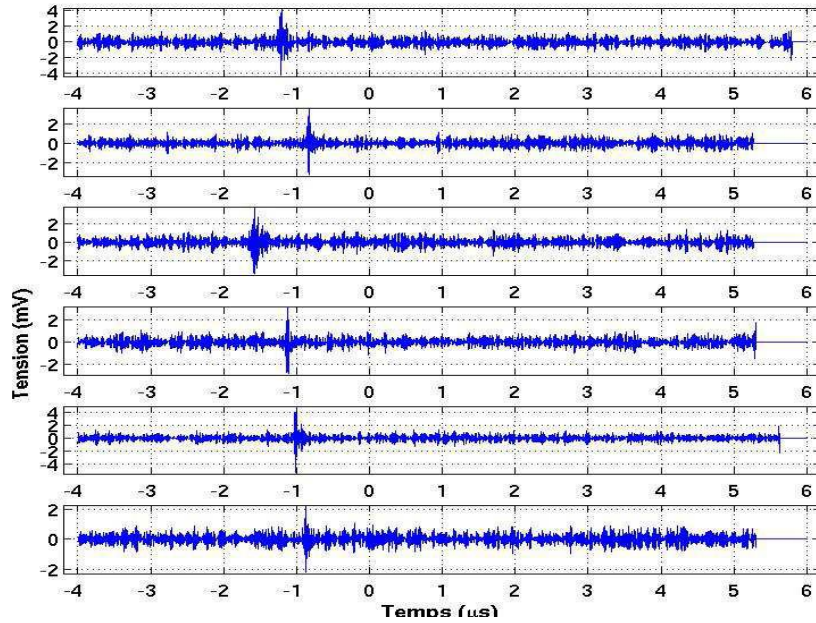
الشكل 10- (la densité spectrale de puissance) الكثافة الطيفية للقدرة التي تم قياسها بواسطة عمود هوائي لوغريتمي دوري Nançay .

الفصل الثاني

الشكل -10 - يمثل الخلفية الراديوية (والتي تمثل تشويشا على رصد المركبة الراديوية للأشعة الكونية) . توجد مركبتين مهمتين في هذه الخلفية الأولى في مجال AM من أقل من 2 MHz إلى 24 MHz أما الثانية فهي في مجال FM (88 - 108 MHz) . بين هاتين المركبتين في المجال 24 - 88 MHz خالي نسبيا من التشويش .



الشكل -11- الأعمدة الهوائية اللغزمية-الدورية لشبكة Nancay .



الشكل -12- مجموعة الشلال التي تصدر منها الإشارات المرئية على كل الأعمدة الهوائية

AM : amplitude modulation تضمين السعة (Wikipédia)

FM : fréquence modulation تضمين التردد

تركيب الجهاز التجريبي :

في البداية كان هناك 11 عمود هوائي دوري لوغرتمي (الشكل -11-) و4 كواشف جسيمات LAL على سطح الأرض . هذا التركيب كان يعطي معلومات حول زمن وصول الشلال إلى سطح الأرض .

التحليل والنتائج :

تم رصد إشارات راديوية من أشعة كونية طاقتها حوالي 5.10^{16} إذن CODALEMA توصلت إلى رصد إشارات راديوية .

2-2-3 تجربة CODALEMA 2 :

كاشف أشعة الراديو :



الشكل - 13 - عمود هوائي ثنائي قطب لـ SUBATECH .

بالنسبة للمرحلة الثانية لـ CODALEMA فقد أعد هوائي جديد في المختبر SUBATECH . وهو ثنائي قطب قصير يتكون من قطعتين من الألمنيوم يرتفع بـ 1 m عن الأرض (الشكل -13-)، و يتم استخدام ثنائي القطب هذا في تردد أقل من 115 MHz للحصول على استجابة في نطاق ترددات واسع . بحيث يسمح بملاحظة الشلالات الهوائية في كل الاتجاهات ، ولخفض التشويش وضعت SUBATECH نظام على شكل رقاقة ASIC (أقحم في الشكل -13-) لترشيح الإشارات التي تردداتها أقل من 20 MHz .

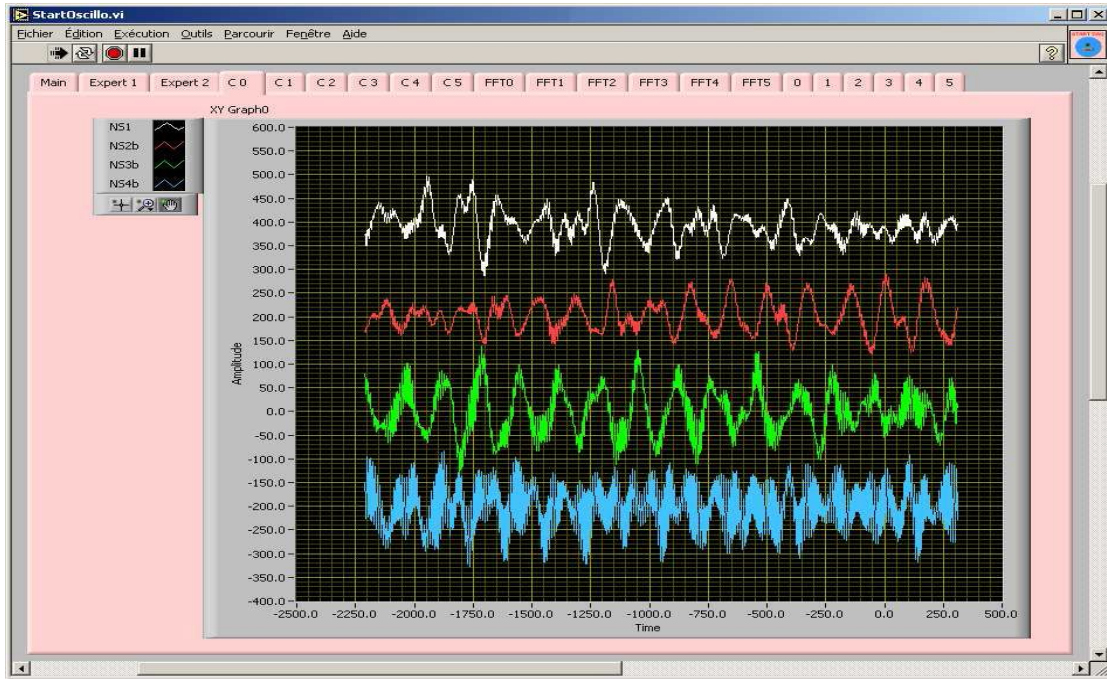
ASIC : Application Spécific for Integration Circuit (circuit intégré à Application Spécifique) : C'est un circuit électronique intégrant sur une même puce tous les éléments actifs nécessaires à la réalisation d'un ensemble électrique

دوائر كهربائية تضم على شريحة واحدة كل العناصر الفعالة اللازمة لتشكيل مجموعة إلكترونية .

شبكة الأعمدة الهوائية :

تم نشر شبكة CODALEMA 2 في البداية بالإضافة إلى الجهاز من CODALEMA 1 بالإضافة سلسلة من ثنائيات قطب اتجاهها شمال - جنوب إلى سلسلة الأعمدة الهوائية اللوغرتمية-الدورية ذات الاتجاه شرق - غرب . ثم تم استبدال الأعمدة الهوائية اللوغرتمية-الدورية بثنائيات أقطاب . تتوجه هذه ثنائيات الأقطاب على طول خط شرق - غرب ثم تم نشر بعض ثنائيات أقطاب إضافية بالقرب من مركز الشبكة بما في ذلك 3 الموجهة على طول خط شمال - جنوب مما يؤدي إلى وجود شبكة مكونة من 24 هوائي . هذا التوزيع للهوائيات مع ثنائيات القطب يهدف إلى تسهيل دراسة تغيرات سعة الحقل الكهربائي وفق تغير المسافة .

رصد على أشعة الراديو :



الشكل -14 - برنامج لرصد إشارات الأعمدة الهوائية .

هنا يتم رصد الإشارات الراديوية و مطابقتها مع دوال تحليلية باستعمال تحويلات فورييه السريعة من أجل الحصول على تيار كهربائي .

الترشيح (Filtrage) :

فاعلية الكشف الراديوي عن الأشعة الكونية يعتمد على نطاق الترددات المستخدمة . وقد تم تحسين هذا النطاق من أجل زيادة عدد الأحداث المرصودة انطلاقاً من قياسات التجربة الشكل -وعموماً عدد الأحداث زاد مع عرض المجال ، بالإضافة إلى مجال FM أيضاً و هذا سمح بكسب بعض الأحداث . لكن في هذه الترددات الإرتيابات المرتبطة باستجابة الأعمدة الهوائية

كبيرة . وهذا الحل ليس دقيق . لذلك أصبح مجال الترددات المستخدم للتحليل هو 23 – 83 MHz .

البحث عن إشارة :

طريقة البحث عن إشارة مختارة هي بسيطة للغاية . إنها مجرد البحث عن ذروة وجود أكبر سعة في إشارة تم تصنيفها من كل عمود هوائي بشكل فردي و نسمي هذه الطريقة بطريقة العتبة وهي مختلفة عن تجربة LOPES التي يتم فيها الربط بين الأعمدة الهوائية قبل البحث عن إشارة .

نتائج CODALEMA 2 :

لقد سمح الكاشف CODALEMA 2 بدراسة الحقل الكهربائي الناتج من شلالات الأشعة الكونية ، و أيضا سمح بملاحظة أشعة الراديو الصادرة عن الشلالات .

3-2- معادلة Allan :

شارك العالم H.R.Allan في التجربة التي تم فيها التحقق من ملاحظة إشارات الراديو الناشئة من الشلال الهوائي بحيث جمعت مجموعة من النتائج النظرية والتجريبية في مقال شامل في سنة 1971 . والاستنتاجات التالية أسست انطلاقا من هذا النتائج : [8,10,11]

* القياسات متوافقة مع الحقل الكهربائي الموجه وفق الجداء الشعاعي بين اتجاه الشلال $\vec{V}$ و اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}$ (الأشعة معرفة على أنها أشعة وحدة $\vec{B} \times \vec{v} \parallel \vec{E}_v$) .

بحيث : E_v سعة الحقل الكهربائي وهي متناسبة مع جيب الزاوية α المحصورة بين الشعاعين $\vec{B}$ و $\vec{V}$.

$$E_v \propto \sin \alpha = \|\vec{B} \times \vec{V}\| \quad (13)$$

بحيث طولية $\vec{B}$ و $\vec{V}$ هي 1

* من أجل الزوايا الرأسية $\theta \leq 35^\circ$ الحقل الكهربائي يتناسب مع الطاقة الابتدائية للشلال :

$$E_v \propto E_p$$

تتعلق سعة الإشارة بـ R (مسافة البعد عن قلب الشلال الهوائي) حيث تتناقص أسيا بالشكل التالي :

$$f(R) = \exp^{-R/R_0} \quad (14)$$

* عندما تتزايد الزاوية θ يزيد R_0 وبذلك تتناقص سعة الإشارات . وهذه العلاقة يمكن تمثيلها

$$E_v \propto \cos \theta$$

مختلف هذه العلاقات استنتجت انطلاقا من عدة تجارب ولخصت في معادلة واحدة سميت بـ :

علاقة Allan

$$E_V = a \left(\frac{E_{init}}{10^{17}} \right) \sin \alpha \cos \theta e^{\frac{-R}{R_0(\nu, \theta)}} \left[\frac{\mu V}{mMHz} \right] \quad (15)$$

بحيث :

R المسافة القطرية بين قلب الشلال الهوائي و العمود الهوائي .

α الزاوية بين محور الشلال الهوائي و الحقل المغناطيسي الأرضي.

R_0 مسافة الانحناء بدلالة التردد و زاوية الرأس θ (angle zénith) .

a ثابت وهو معامل سلمي تم تعديل قيمته عدة مرات حسب المرصد . في البداية كانت قيمته 25 من أجل $E_{init} = 10^{17} eV$ ثم 20 وبعدها 1.6 (حسب Allan 1970) .

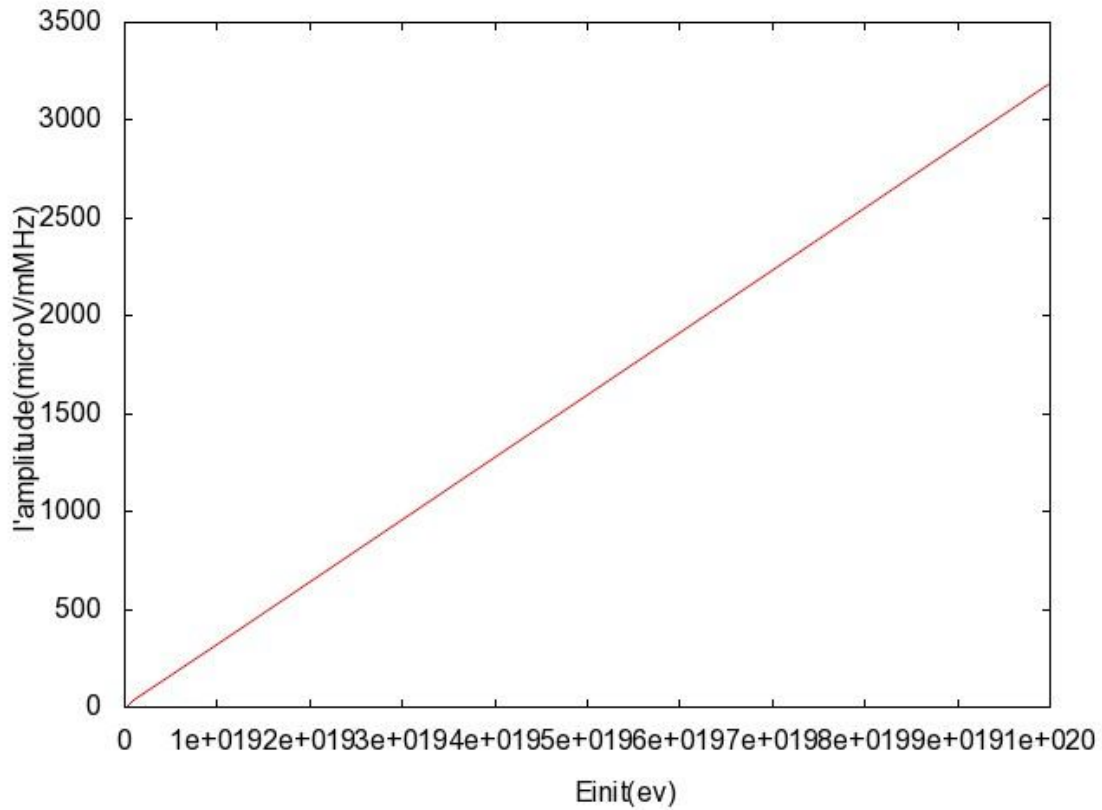
$a = 1.6$ أعطت $\varepsilon \sim 0.6 \left[\frac{\mu V}{mMHz} \right]$ من أجل $E = 10^{17} eV$ و $r = 100 m$

أما دراسة أخرى من طرف فريق بحث في موسكو فقد أعطت $a = 9.2$ وهذا ما يؤدي إلى $\varepsilon = 3.4 \left[\frac{\mu V}{mMHz} \right]$. التباين في القيم سببه الارتياح في تقدير الطاقة وموقع قلب الشلال .

4-2- دراسة نظرية لخواص السعة الكهربائية انطلاقاً من معادلة Allan:

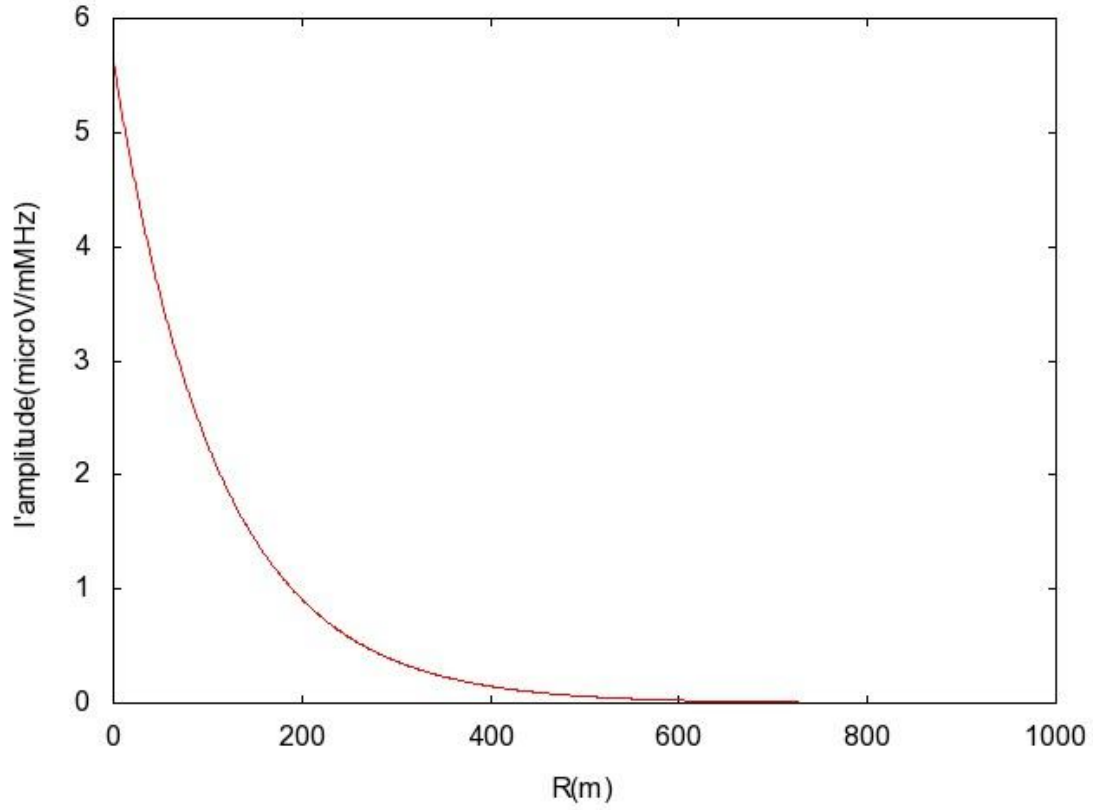
انطلاقاً من معادلة Allan قمنا بحساب سعة الحقل الكهربائي وذلك بأخذ قيم للطاقة الجسيمة الابتدائية E_{init} (من 10^{15} eV إلى 10^{20} eV) وهي قيم توافق ما يتم رصده في المراصد الكبرى ، ثم للبعد عن قلب الشلال R (من 0 m إلى 1000 m)، ثم للزاوية الرأسية θ (15 ، 30 ، 45 ، 60 ، 75 بالدرجة) . وبعد ذلك قمنا برسم منحنيات سعة الحقل الكهربائي بدلالة E_{init} ثم R ثم θ و ذلك بواسطة البرنامج gnuplot . أما بالنسبة لما سنأخذه في رسم المنحنيات من قيم a فهي القيمة 9.2 .

يمثل المنحنى في الشكل - 15- تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة قيمة الطاقة الابتدائية (بـ eV) بحيث نلاحظ زيادة قيمة السعة كلما زادت قيمة الطاقة الابتدائية وذلك راجع لزيادة الجسيمات المشحونة الناتجة عن تفاعل الجسيمة الابتدائية ذات الطاقة الابتدائية مع الغلاف الجوي .



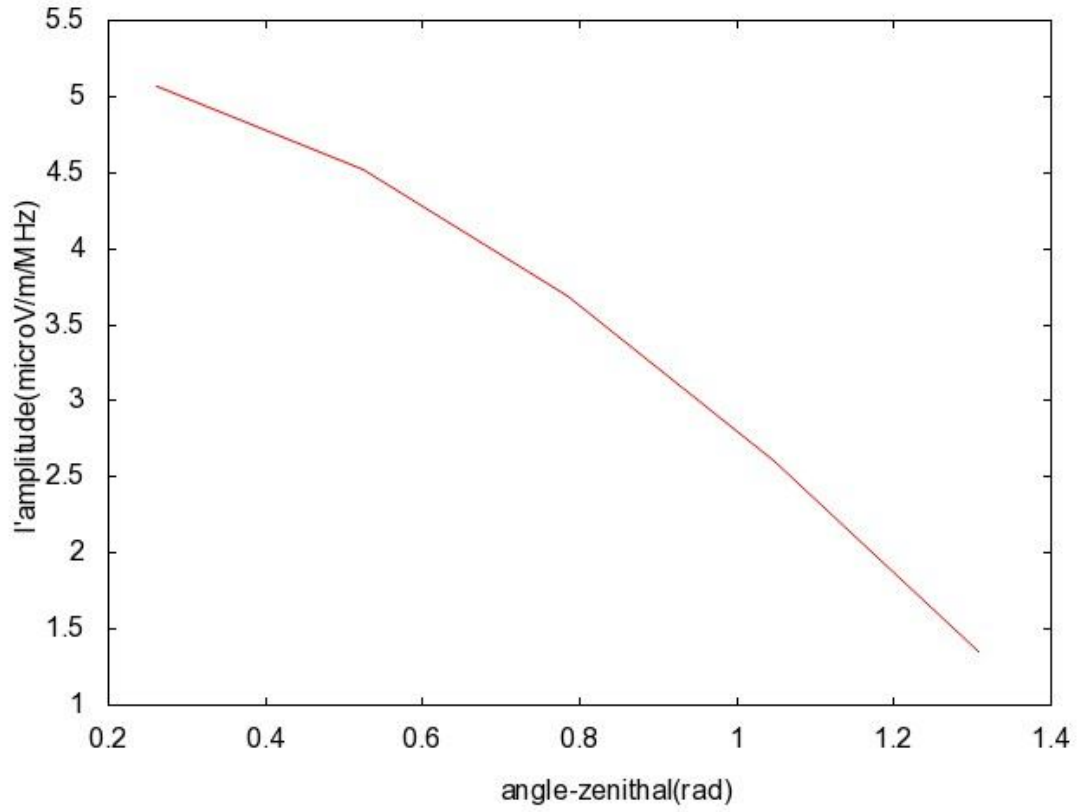
الشكل- 15- يمثل تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة الطاقة الابتدائية

يمثل المنحنى في الشكل -16- تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة البعد عن قلب الشلال الهوائي بحيث نلاحظ نقصان قيمة السعة كلما زادت قيمة البعد وذلك راجع لنقصان الجسيمات المشحونة - الناتجة عن تفاعل الجسيمة الابتدائية مع الغلاف الجوي - .



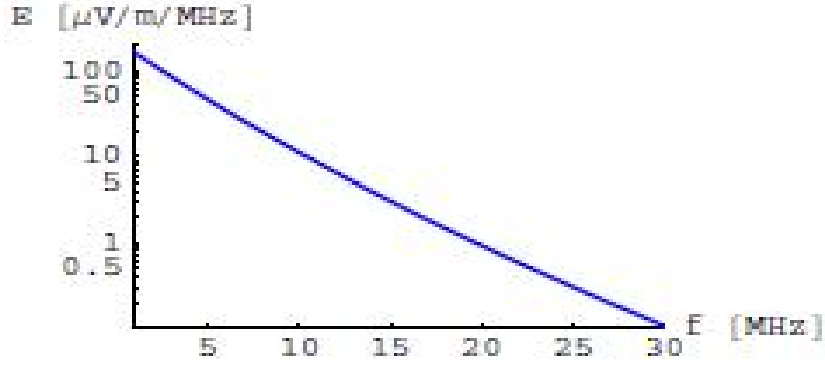
الشكل -16- يمثل تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة البعد عن قلب الشلال الهوائي .

يمثل المنحنى في الشكل - 17- تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة قيمة زاوية الرأس angle zénithal . بحيث نلاحظ نقصان قيمة السعة كلما زادت قيمة الزاوية الرأسية (تعريف الزاوية الرأسية في جزء نظام الإحداثيات في الفصل الثالث) .

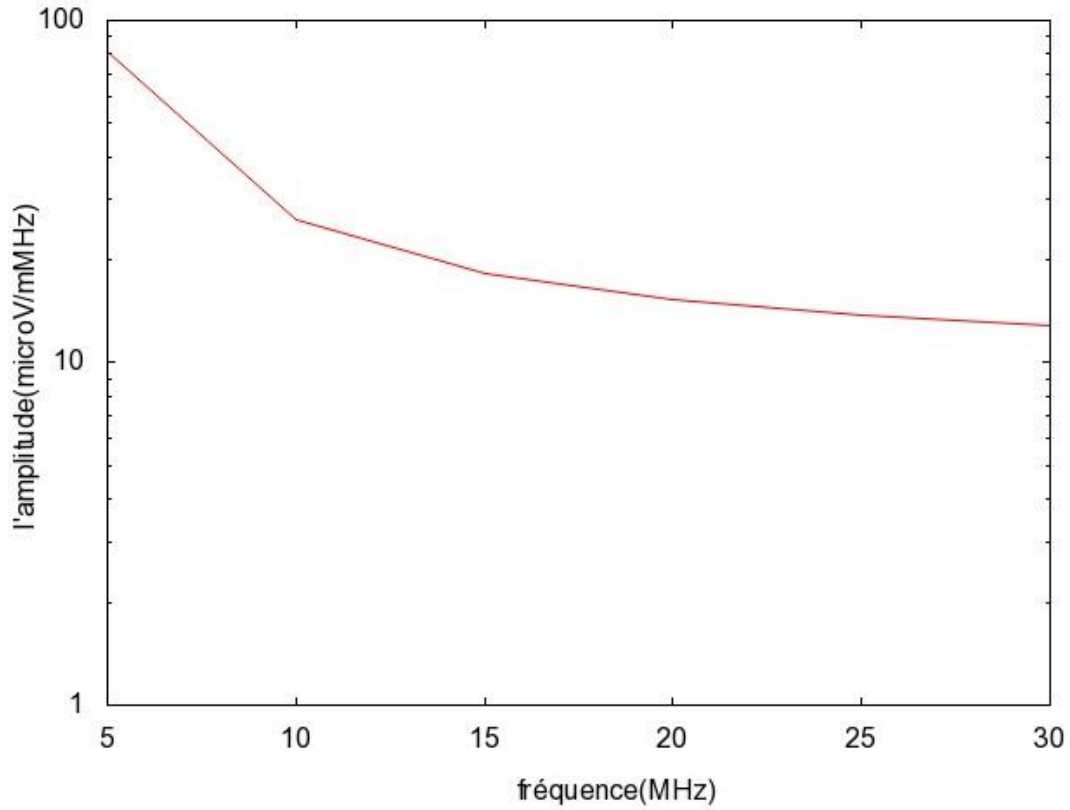


الشكل -17- يمثل تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة angle zénithal .

الشكلين -18- و -19- يمثلان تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة التردد فالشكل -18- هو نتيجة تجريبية حاولنا الحصول عليه بطريقة نظرية و ذلك بوضع عدة عبارات لتغير R_0 بدلالة التردد . استعملنا دالة أسية ودوال أخرى لكن تغير سعة الحقل الكهربائي لم تكن مماثلة للشكل -18- . و لما وضعنا تغير R_0 بدلالة التردد على شكل دالة تألفية تحصلنا على تغير السعة بدلالة التردد يقارب النتيجة التجريبية (الشكل -19-) أي كلما زاد التردد نقصت السعة .



الشكل - 18- يمثل تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة التردد .



الشكل - 19- يمثل تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة التردد .

الفصل الثالث :

دراسة إمكانية الرصد الراديوي
للأشعة الكونية في منطقة الحضنة

نقوم في هذا الفصل باستعمال نتائج المحاكاة من أجل دراسة إمكانية إنشاء مرصد للمركبة الراديوية للأشعة الكونية في منطقة الحضنة .

نقوم بإجراء المحاكاة باستعمال برنامج Aires مع مراعاة الإحداثيات الجغرافية لمنطقة الحضنة .

3-1- برنامج Aires :

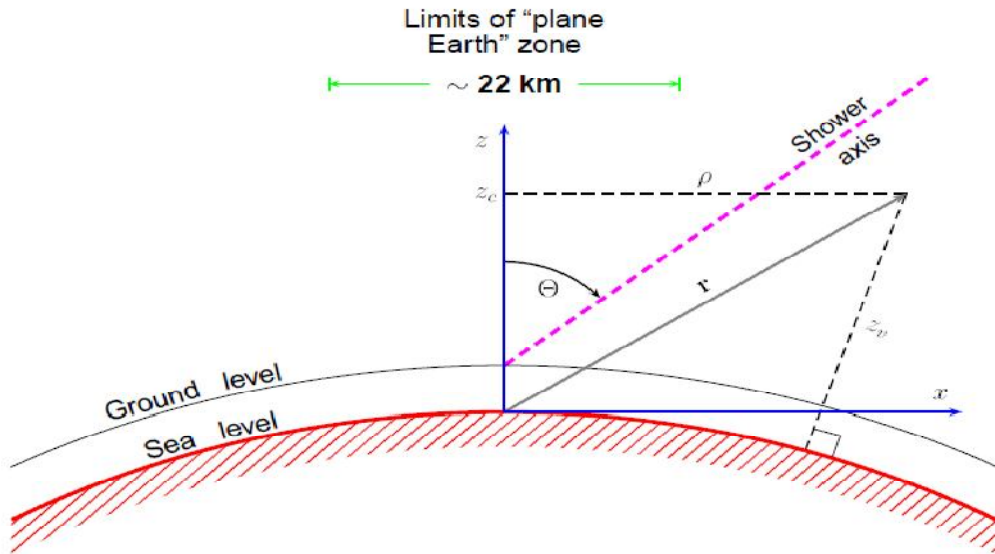
Aires هو مجموعة من البرامج أو الخوارزميات تختص بمحاكاة الشلالات الهوائية (Air shower Extended Simulation) ، و هو يكتب بلغة الفورتران . وقد جاء تحسينا للبرنامج الذي سبقه MOCCA .

سنستعمل Aires لمحاكاة الأشعة الكونية في منطقة الحضنة و لذلك نحتاج لمعرفة بعض الخواص الهندسية : [8]

نظام الإحداثيات :

يستخدم برنامج Aires نظام الإحداثيات الكارتيزية ، يهتم بالارتفاع عن سطح البحر و الذي يعتبر مبدأ الإحداثيات و أيضا الموقع الجغرافي ، حيث أن المستوي (xy) يكون أفقي على مستوى السطح و المحور (z) يتجه إلى الأعلى ، و المحور (x) يتجه حسب الاتجاه المغناطيسي الشمالي كما هو موضح في الشكل-20-

يتقاطع محور الشلال مع المحور (z) ليشكل الزاوية الرأسية θ ($0 \leq \theta < 90^\circ$) ، أما الزاوية Φ هي المسقط الأفقي لمحور الشلال و المحور (x) ($0 \leq \Phi < 360^\circ$) .



الشكل -20- نظام إحداثيات Aires

لتحديد موضع كل نقطة المعرفة بالإحداثيات (x, y, z) نظام الإحداثيات (x, y, z_c, z_v) نستعمل :

$$X^2 + Y^2 = \rho^2 \quad (16)$$

$$(R_e + Z_v)^2 = (R_e + Z_c)^2 + \rho^2 \quad (17)$$

أين R_e : نصف قطر الأرض.

Z_c : الارتفاع المركزي عن سطح الأرض .

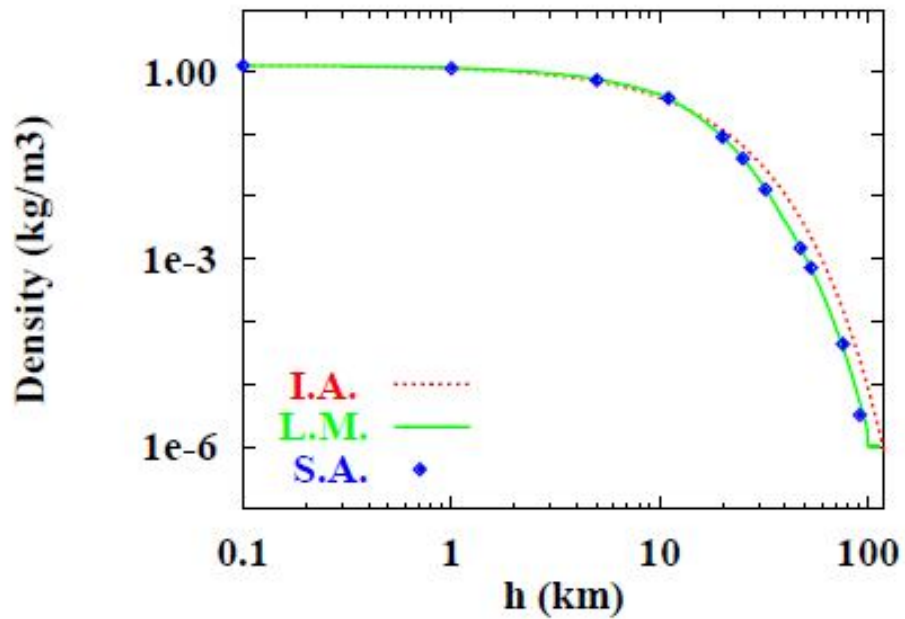
Z_v : الارتفاع العمودي (يوافق المسافة الدنيا بين النقطة والارتفاع على سطح البحر).

نموذج الغلاف الجوي :

كثافة الغلاف الجوي تتغير بدلالة الارتفاع العمودي على سطح البحر وتكون ثابتة في المجال ما بين $[0 \leq h \leq 90 \text{ km}]$ ، وتقل تدريجيا مع زيادة الارتفاع كما هو واضح في الشكل-21- والكثافة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho(h) = \rho_0 e^{\frac{-gMh}{RT}} \quad (18)$$

$$\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3, \quad M = 28.966, \quad T = 288 \text{ K}$$



الشكل -21- يمثل تغير الكثافة بدلالة الارتفاع .

ولكن عندما يكون الارتفاع اكبر من الارتفاع الأعظمي والذي حدد من طرف نموذج Linesley المعمول به في Aires ($0 \leq h \leq h_{\max} \leq 112.8 \text{ km}$) أي $h > h_{\max}$ فنتقدم الكثافة، ومن شأن هذه التقريبات أن تبسط مختلف الخوارزميات المستعملة في محاكاة الشلالات الهوائية وفي الخوارزميات كثافة الغلاف الجوي لا تستعمل مباشرة وإنما عي عبارة

عن كمية طبيعية تصف تغيرها وتدعى بالعمق العمودي للغلاف الجوي تقدر وحدته بـ g/cm^2 وله العبارة التالية :

$$X = \int_h^{\infty} \rho(h') dh' \quad (19)$$

وهذا يخص الشلال العمودي عندما تكون الزاوية الراسية معدومة ، وفيما يخص الشلال الأفقي ($\theta \neq 0^\circ$) فإن عبارة العمق المائل تعطى بـ :

$$X_s = \frac{X}{\cos\theta} \quad (20)$$

خوارزمية التخفيف :

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

الجسيمات الخاصة بالمحاكاة :

معظم الجسيمات المعروفة تدخل في المحاكاة مثل : الكاونات ، الالكترونات ، البوزيترونات ، الميونات ، البيونات ، الفوتونات ، البروتونات ، النيكلونات و الأنوية ذات العدد الشحني الأقل من 36 و النيتريو أيضا . الجسيمة الابتدائية يمكن أن تكون واحدة من الجسيمات المذكورة سابقا بطاقات عالية جدا .

التفاعلات المستعملة في المحاكاة :

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

- تفاعلات الالكتروديناميك : تضم التفاعلات الآتية :
- خلق الزوج (e^- ، e^+) و إخماده .
- إشعاع الكبح إلكترون-بوزترون ($Bremsstrahlung e^-e^+$, muon)
- مفعول كومبتون و المفعول الكهروضوئي
- التفاعلات الهادرونية : تشمل
- التصادم غير المرن هادرون-نواة .
- التصادم غير المرن نواة-فوتون .
- تفكك الجسيمات غير المستقرة مثل البيونات و الميونات .
- انتشار الجسيمات : الجسيمات ذات الطاقات المنخفضة تضيع طاقتها في الوسط (تأين).

ملف المعطيات :

يحتوي ملف المعطيات على العديد من التعليمات و الضوابط الفيزيائية التي تتحكم في المحاكاة مثل : الجسيمة الابتدائية ، محطة الرصد ، اسم المحطة ، ... هذه المعلومات تخص الشلال المدروس من جهة و تخص البرنامج عن غيره من جهة أخرى و أيضا يضم كل المقادير الفيزيائية والهندسية التي يعتمد عليها البرنامج كالتي ذكرت سابقا مثل الزاوية الرأسية ، التخفيف النسبي ، عدد الشلالات ، الارتفاع عن سطح الأرض ... أما فيما يخص المعلومات المتعلقة بالشلال و التي تبني عليها الدراسة فتدرج من خلال جداول ، للحصول على هذه الجداول نستعمل التعليمة Export Tables . يبدأ برنامج المعطيات كغيره من البرامج باسم البرنامج وينتهي أيضا بـ End .

ملف النتائج :

يحتوي هذا الملف على خواص الشلال و مميزات الجسيمات المكونة له ، و أيضا يحتوي على مختلف الوحدات المستعملة في المحاكاة . كل التعليمات التي أدرجت في ملف المعطيات نجدها بيانات في هذا الملف ، من المعلومات التي تظهر في ملف النتائج نجد : التوزيع الطولي ، التوزيع العرضي ، توزيع الطاقة ، عدد الجسيمات ، الارتفاع الأعظمي و ما يوافقه من عدد الجسيمات ، المسافة أو البعد عن قلب الشلال ،.. الخ من الخصائص الذاتية و المميزة للشلال الهوائي . و في حالة وجود خطأ تظهر في ملف النتائج رسائل تحدد نوع الخطأ و مكانه .

بعد محاكاة الشلالات الهوائية باستعمال Aires ، نقوم بدراسة مميزات الحقل الكهربائي الناتجة عن الأشعة الكونية التي يمكن رصدها في منطقة الحضنة و هذا لمعرفة مدى إمكانية وجود مرصد للمركبة الراديوية للأشعة الكونية في هذه المنطقة .

3-2- دراسة إمكانية إنشاء مرصد للمركبة الراديوية للأشعة الكونية في منطقة الحضنة :

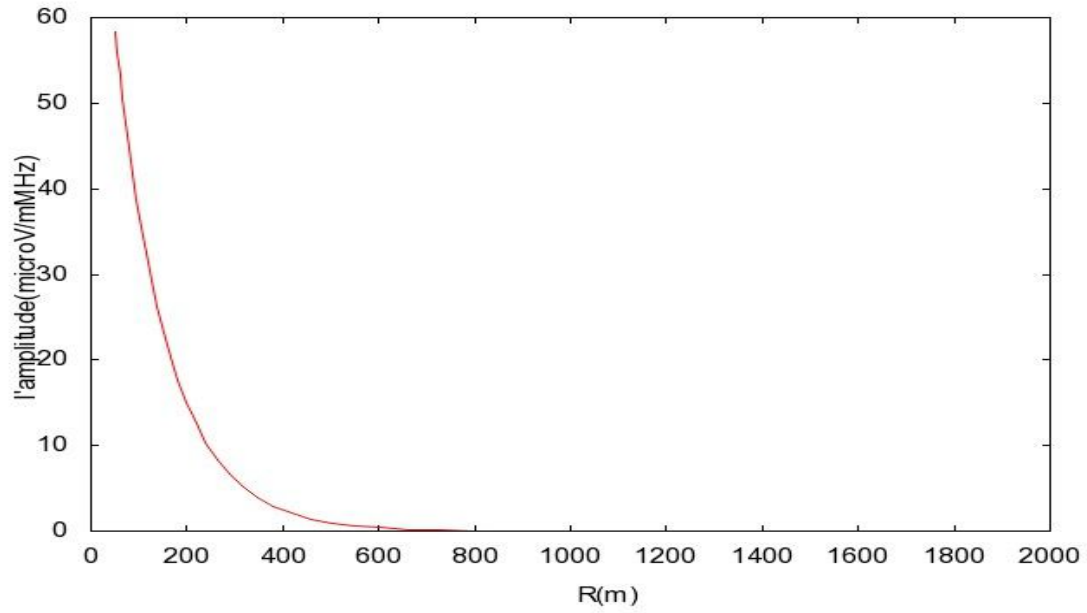
المرصد الذي نحاول دراسة إمكانية إنشائه يختلف عن تلسكوب راديوي الذي يرصد الأشعة الناتجة عن الأجرام السماوية . أما ما يهمنا فهو رصد إشعاع Askaryan أو إشعاع شرنكوف الراديوي الناتج عن وجود فائض في عدد الإلكترونات بالنسبة للبوزيترونات في الشلالات الهوائية .

أولا يجب دراسة الكثافة الطيفية للقدرة (للأمواج الراديوية) الخاصة بمنطقة الحضنة . و هذا من أجل تحديد مجالات التردد التي تكون فيها هذه الكثافة كبيرة . حيث تمثل هذه المجالات تشويشا على قياس المركبة الراديوية للشلالات الهوائية . لهذا يجب اختيار مجال تكون فيها الكثافة الطيفية للقدرة للأمواج الراديوية ضعيفة أو منعدمة .

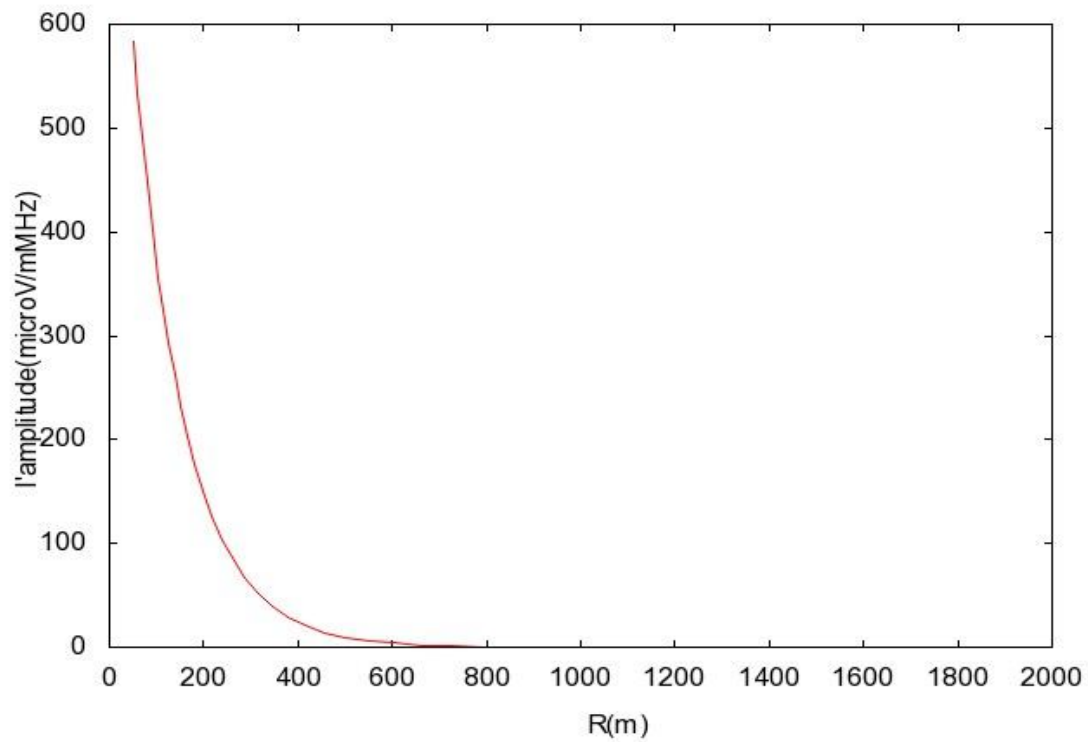
أما أجهزة الرصد فيجب أن تتكون من أعمدة هوائية و سلسلة ثنائيات القطب مثل ما وضع في CODALEMA بحيث يكون تموضعها وفق سلسلتين ، فالسلسلة الأولى عبارة عن أعمدة هوائية لوغزمية- دورية ذات اتجاه شرق - غرب والسلسلة الثانية عبارة عن ثنائيات القطب اتجاهها شمال - جنوب . هذا التوضع للهوائيات مع ثنائيات القطب يهدف إلى تسهيل دراسة تغيرات سعة الحقل الكهربائي وفق تغير المسافة .

و من أجل هذه الدراسة قمنا بوضع البروتون كجسيمة ابتدائية مع تغيير الطاقة الابتدائية وقياس مسافة البعد عن قلب الشلال R و ذلك عن طريق محاكاة الأشعة الكونية أو بالأحرى جسيمة البروتون عن طريق برنامج Aires ، وقمنا أيضا بتطبيق علاقة Allan لحساب سعة الحقل الكهربائي ورسم تغيرها بدلالة البعد عن قلب الشلال .

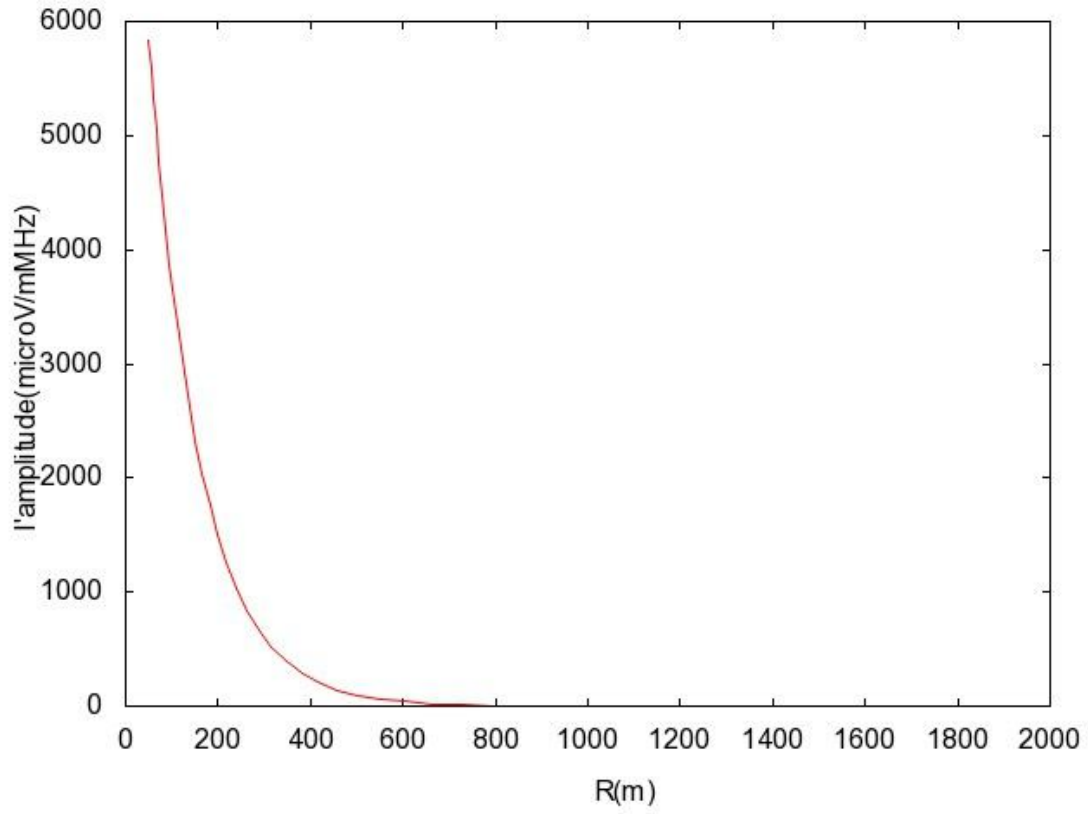
تمثل المنحنيات في الأشكال - 22 ، 23 ، 24- تغير سعة الحقل الكهربائي بدلالة مسافة البعد عن قلب الشلال R للجسيمة الابتدائية البروتون ذات الطاقة الابتدائية Eev 1 ، ثم Eev 10 ، Eev 100 تتابعا لاحظنا تناقص سعة الحقل الكهربائي مع زيادة مسافة البعد عن قلب الشلال .



الشكل -22- منحنى تغير سعة الحقل الكهربائي للبروتون ذو طاقة ابتدائية 1 Eev بدلالة R



الشكل -23- منحنى تغير سعة الحقل الكهربائي للبروتون ذو طاقة ابتدائية 10 Eev بدلالة R



الشكل - 24- منحنى تغير سعة الحقل الكهربائي للبروتون ذو طاقة ابتدائية 100 Eev بدلالة R.

الحقل المغناطيسي الأرضي في منطقة الحضنة :

يمكن الحصول على قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي (الشدة والزواية) من خلال نفس الموقع المذكور في الفصل الأول . وذلك بعد تحديد خط الطول و العرض . بحيث يمثل الشكل - 25- القيم المتحصل عليها .

Calculate Magnetic Field

Latitude: ☐ S ☒ N

Longitude: ☐ W ☒ E

Elevation: ☐ GPS ☒ Mean sea level

Kilometers ▼

Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at [USGS Earth Explorer](#).

U.S. Zip Code:

- OR -

Country: -Choose a country- ▼

Magnetic Field

Model Used: WMM2015

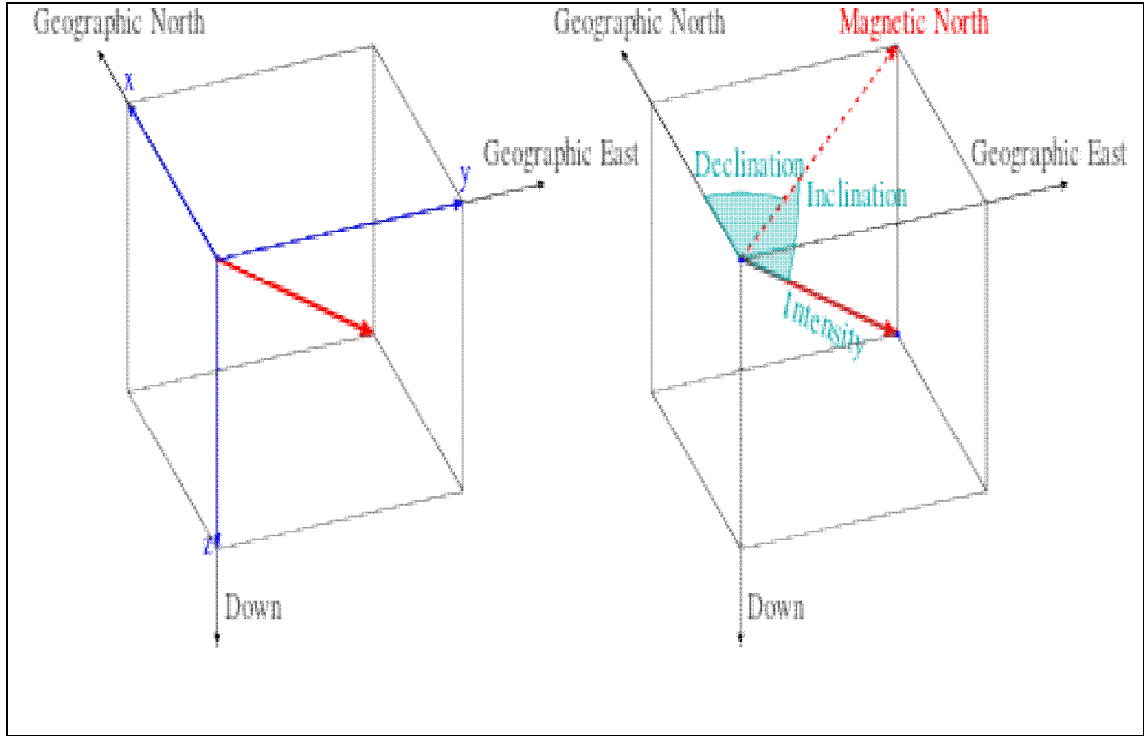
Latitude: 35° 42' 0" N

Longitude: 4° 32' 42" E

Elevation: 0.0 km Mean Sea Level

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ N - S)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ N - S)	Total Field
2016-05-16	1° 9' 1"	49° 35' 46"	20,131.2 nT	20,125.5 nT	564.0 nT	33,068.8 nT	43,415.5 nT
Change/year	0° 5' 57"/yr	-0° 1' 10"/yr	27.3 nT/yr	25.3 nT/yr	49.2 nT/yr	9.3 nT/yr	24.8 nT/yr
Uncertainty	0° 19'	0° 13'	133 nT	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

الشكل - 25- يوضح قيمة الحقل المغناطيسي بكل مركباته و الزوايا التي يصنعها مع الشمال الجغرافي و الشمال المغناطيسي .



الشكل -26- يمثل مركبتي الحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}$ والزوايا التي يصنعها مع القطب الشمالي الجغرافي والقطب الشمالي المغناطيسي .

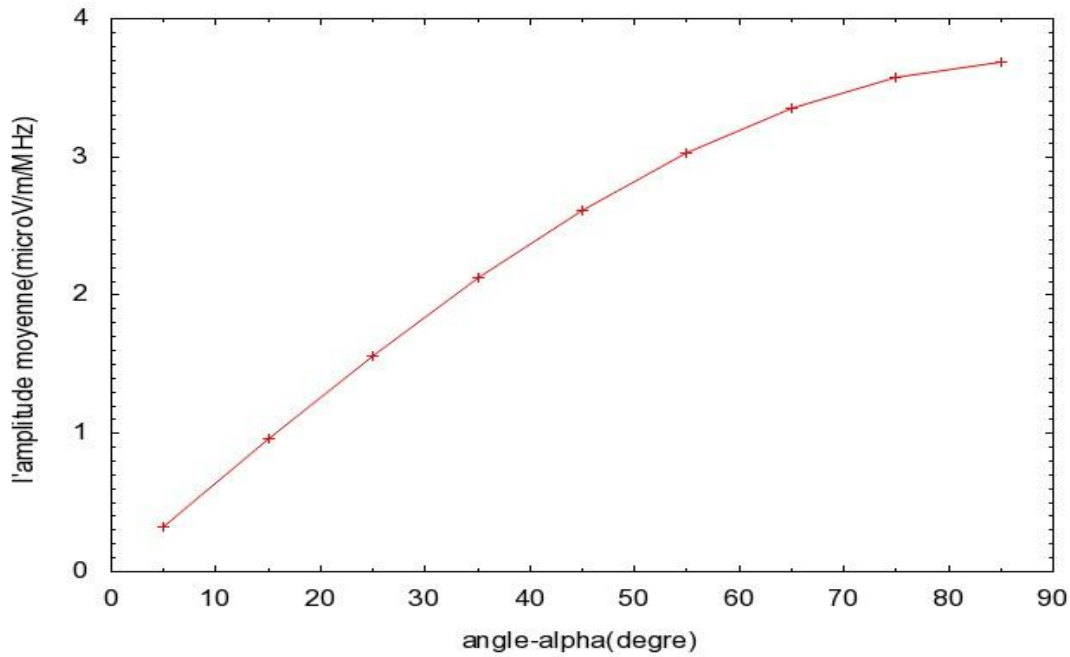
يلعب الحقل المغناطيسي الأرضي دوراً مهماً في حساب سعة الحقل الكهربائي حيث أن الزاوية التي يصنعها مع محور الشلال هي الزاوية α أين يظهر $\sin \alpha$ في معادلة Allan .

بما أن الحقل المغناطيسي الأرضي يتغير ببطء شديد مع الزمن فإن دراسة سعة الحقل الكهربائي بدلالة α يمكننا من معرفة الشلالات التي لها أكثر احتمال للرصد الراديوي حسب اتجاه محاورها .

تحديد الزاوية α صعب لأنه يعتمد على اتجاه الشلالات . و من أجل دراسة تأثير تغير α على السعة نقوم بحصرها في تسع مجالات من 0° إلى غاية 90° ونحسب السعة المتوسطة في كل مجال و ذلك باعتبار أن قيمة الطاقة الابتدائية E_{init} هي 10^{17} eV و قيمة مسافة البعد عن قلب الشلال R هي 100 m و قيمة المسافة المميزة R_0 هي 110 m ونلاحظ مدى تأثير اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي بصفة عامة على السعة .

يمثل الشكل - 27- منحنى تغير سعة الحقل الكهربائي المتوسطة بدلالة تغير الزاوية α في كل المجالات بحيث نلاحظ أنه من أجل القيم المختارة حصلنا على حقل كهربائي قيمته أقل من 5 $\left[\frac{\mu V}{mMHz} \right]$. هذه القيمة ستتغير لما نغير قيمة R_0 ، R ، E_{init} و θ .

يمكننا المنحنى من حصر قيمة α و هذا بمقارنة قيمة سعة الحقل بالقيم المتحصل عليها في مختلف التجارب مع أخذ نفس قيم المتغيرات . و بهذا نستطيع تحديد اتجاه الشلالات التي سنتمكن من رصد مركباتها الراديوية بأكبر احتمال .



الشكل - 27- منحنى تغير سعة الحقل الكهربائي المتوسطة بدلالة الزاوية α

مناقشة النتائج :

إن نتائج محاكاة الشلالات الهوائية لمنطقة الحضنة قريبة من النتائج النظرية أي التي استنتجت من التجارب . فلقد لاحظنا زيادة سعة الحقل الكهربائي الراديوي بزيادة الطاقة الابتدائية للجسيمة الابتدائية (البروتون) و تناقصها بزيادة مسافة البعد عن قلب الشلال R .

إذن المقادير التي تؤثر أكثر على السعة هي مسافة البعد عن قلب الشلال R و الطاقة الابتدائية للجسيمة الابتدائية .

إن امكانية رصد المركبة الراديوية للأشعة الكونية في منطقة الحضنة تعتمد على مواضع الأعمدة الهوائية و ثنائيات القطب و سعة الحقل الكهربائي التي تتعلق بالزاوية α .

في تجارب رصد المركبة الراديوية للأشعة الكونية ، قيمة الحقل الكهربائي ε_v في مجال الترددات من 40 إلى 80 MHz تقدر ببعض $\left[\frac{\mu V}{mMHz}\right]$ و هذا ما يعادل حقل كهربائي $E \approx 150 \left[\frac{\mu V}{mMHz}\right]$. و لهذا نتوقع أن الشلالات الهوائية التي يمكن رصدها عن طريق المرصد الراديوي هي تلك التي يصنع محورها زاوية تكون قيمتها في المجال من 60° إلى 90° مع الحقل المغناطيسي الأرضي لما تكون الزاوية الرأسية معدومة .

عندما تكون الزاوية الرأسية θ معدومة ($\theta = 0$) الشلال يكون عمودي على سطح الأرض (فالعلاقة التي تربط عدد الجسيمات $(N_0 = N(\theta = 0, E))$ بالطاقة الابتدائية حسب تجربة CODALEMA هي كالتالي :

$$E_{init} = 2.14 \times 10^{10} \times N_e^{0.9} \quad (20)$$

أما العلاقة التي استنتجت من محاكاة جسيمة البروتون في منطقة الحضنة هي :

$$E_{init} = 5.41 \times 10^{11} \times N_e^{0.75} \quad (21)$$

المعوقات و الخلفية الإشعاعية في منطقة الحضنة بمدينة المسيلة :

إن قياس المركبة الراديوية للأشعة الكونية في أي مكان من الكرة الأرضية يتعرض لمعوقات سببها التكنولوجيا الحديثة . فانتشار وسائل الاتصال و وسائل الإعلام المرئية و المسموعة يستعمل مجالات كبيرة من الأمواج الكهرومغناطيسية و الراديوية خاصة .

في منطقة الحضنة المعوقات تتمثل في الإذاعات المحلية و وجود الأعمدة الهوائية لشبكات الهواتف النقالة وأجهزة التلفاز . مع وجود الأشعة الراديوية القادمة من الفضاء . بحيث إشارات كل تلك المعوقات تحدث تشويشا و تأخر نسبيا التسجيل ولتفادي ذلك يجب إبعاد المرصد عن موقعها أو ترشيح الإشارات للحصول على الإشارة المرغوبة أي بالمعنى إشارة إشعاع الراديو الناتج عن الأشعة الكونية وذلك عن طريق تحديد مجال ترددي خال نسبيا من التشويش .

خاتمة :

ظهرت إمكانية رصد إشارات الراديو الصادرة عن شلالات هوائية ناتجة عن أشعة كونية ذات طاقات عالية منذ أكثر من 45 عاما . لكن هذا الرصد لم يكن دقيق حتى اقترحت علاقة Allan لإشعاع الراديو ، التي ربطت بين كافة المتغيرات المتعلقة بالشلال الهوائي (E_{init} ، θ ، R) . بحيث تتناقص سعة الحقل الكهربائي الراديوي عند زيادة كل من الزاوية الرأسية θ و مسافة البعد عن قلب الشلال R و تردد الأمواج ν ، كما تتزايد قيمة السعة عند زيادة الطاقة الابتدائية E_{init} للجسيمة الابتدائية . وهذا ما حصلنا عليه عند اقتراح وضع مرصد في منطقة الحضنة (المسيلة) إضافة إلى الحقل المغناطيسي الأرضي و اتجاه شلال الجسيمات بحيث تتشكل بينهما زاوية α التي تتحكم قيمتها في معرفة الشلالات التي لها أكثر احتمال للرصد الراديوي حسب اتجاه محاورها .

من الممكن أن تواجه عملية رصد الإشارات الراديوية الناشئة من شلالات هوائية للأشعة الكونية عدة معوقات من بينها التشويش إثر تداخلها مع إشارات راديوية من مصادر أخرى وبذلك لجأ في كل مرصد راديوي إلى الترشيح للحصول على مجال ترددي خال من ذلك التشويش .

وأيضا الرصد الراديوي (radiodétection) هو أقل تكلفة نسبيا بالمقارنة بمراسد الجسيمات (Scintillateur أو Cuves Tcherenkov) فهو يتم في مجال ترددي بواسطة أعمدة هوائية موجهة . ومن بين التجارب التي نجحت في هذا المجال تجربتي LOPES و CODALEMA (الأولى و الثانية أما الثالثة فهي في طور التجريب) فقد استطاعتا أن ترصدا إشارات الراديو الناتجة عن الشلالات الهوائية و إجراء التحليل لها للحصول على تيار كهربائي ودراسته ، فالعلماء يحاولون جاهدين لتطوير هذا النوع من المراسد لتفادي أكبر عدد من الأخطاء النظامية للحصول على نتائج أكثر صحة و دقة نسبيا .

Bibliographie :

[1] Reseaux sans fil dans les pays en developement , de the Networking the Developing world authors (auleur) , Antoine Bagula (Traduction) , 2006 , lime ehouse Book sprint Team , ISBN : 0-977803-2-3 .

[2] Kowalski,J , Measuring the Askaryan Effect in Ice withe ANITA Instrument , Proceeding of the 30 th International Cosmic Ray conference . July 3-11,2007, p.1573-1576

[3] Sabra lamri , Thèse de magister , ' Mini Black holes decay in the atmosphere ' , l'université El Hadj Lakhdar – Batna .

[3] صابرة لعمرى ، مذكرة الماجستير ، ' تفكك الثقوب السوداء المجهرية في الغلاف الجوي ' ، جامعة الحاج لخضر - باتنة .

[4] Franck Kloss , les rayons cosmique : rayon à ciel , traduire par Indji Bendari Ahemmad , 2013 .

[5] Chbabhi Basma , Thèse de master , ' Simulation des rayons cosmique à haute énergie ' , L'université de M'sila , 2013 .

[5] شباحي بسمة ، مذكرة ماستر ، ' محاكاة الشلالات الهوائية للأشعة الكونية عالية الطاقة ' ، جامعة المسيلة ، 2013 .

[6] Himar Soumaya , Thèse de master , ' Etude l'interaction exotique des rayons cosmique à haute énergie dans l'atmosphère ' , L'université de M'sila , 2015 .

[6] حيمر سمية ، مذكرة ماستر . ' دراسة التفاعلات غير المعيارية للأشعة الكونية فائقة الطاقة في الغلاف الجوي ' ، جامعة المسيلة ، 2015 .

[7] Thomas Saugrin , Thèse de doctorat , Radiodétection et caractérisation de l'émission radio des gerbes cosmiques d'énergie supérieure à 10¹⁶ eV avec l'expérience CODALEMA , 2008 , L'université de NANTES UFR SCIENCES ET TECHNIQUES .

[8] Colas Riviere , Thèse de doctorat , ' Des signaux radio aux rayons cosmiques ' , 2009 , Université Joseph Fourier – Grenoble 1 , Ecole Doctorale de Physique .

[9] S.J.Scuitto , Aires A system for air shower simulation user's guide and reference manual (2002) LAPLATA , Argentina .

[10] H.R.Allan , Imperial College , 1971 , London .

[11] P.K.F. Grieder , Extensive Air Showers, DOI 10.1007/978-3-540-76941-5 18, C _ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010 .

المخلص :

الرصد الراديوي للشلالات الهوائية للأشعة الكونية هي طريقة طرحها Allan في سنوات الستينات . وهي تعتمد على قياس الحقل الكهربائي المحرض بواسطة الجسيمات المشحونة في الشلالات .

قمنا بدراسة إمكانية استعمال تقنية الرصد الراديوي للأشعة الكونية في منطقة المسيلة فقمنا بمحاكاة شلالات هوائية يمكن رصدها من هذه المنطقة و درسنا خواص الحقل الكهربائي المحرض في هذه الشلالات .

الكلمات المفتاحية : الأشعة الكونية ، الشلالات الهوائية ، جسيمات مشحونة ، الرصد الراديوي ، الحقل الكهربائي المحرض .

Abstract :

Radio detection of cosmic rays extensive air showers was proposed by Allan in the sixties . It's based on the measurement of electric field induced by charged particles in the air showers .

We investigated the possibility of using such technique in M'sila region , where are studied the proprieties of the electric field induced in air showers simulated for this region .

Résumé :

La radio détection des gerbes atmosphères des rayons cosmique est une technique qui a été proposé par Allan dans les années soixante . Elle se base sur la mesure du champ électrique induit par les particules chargées des gerbes .

Nous avons considéré la possibilité d'utiliser une telle technique dans la région de M'sila en étudiant ces propriétés du champs électrique induit dans ces gerbes atmosphérique simulés pour cette région .