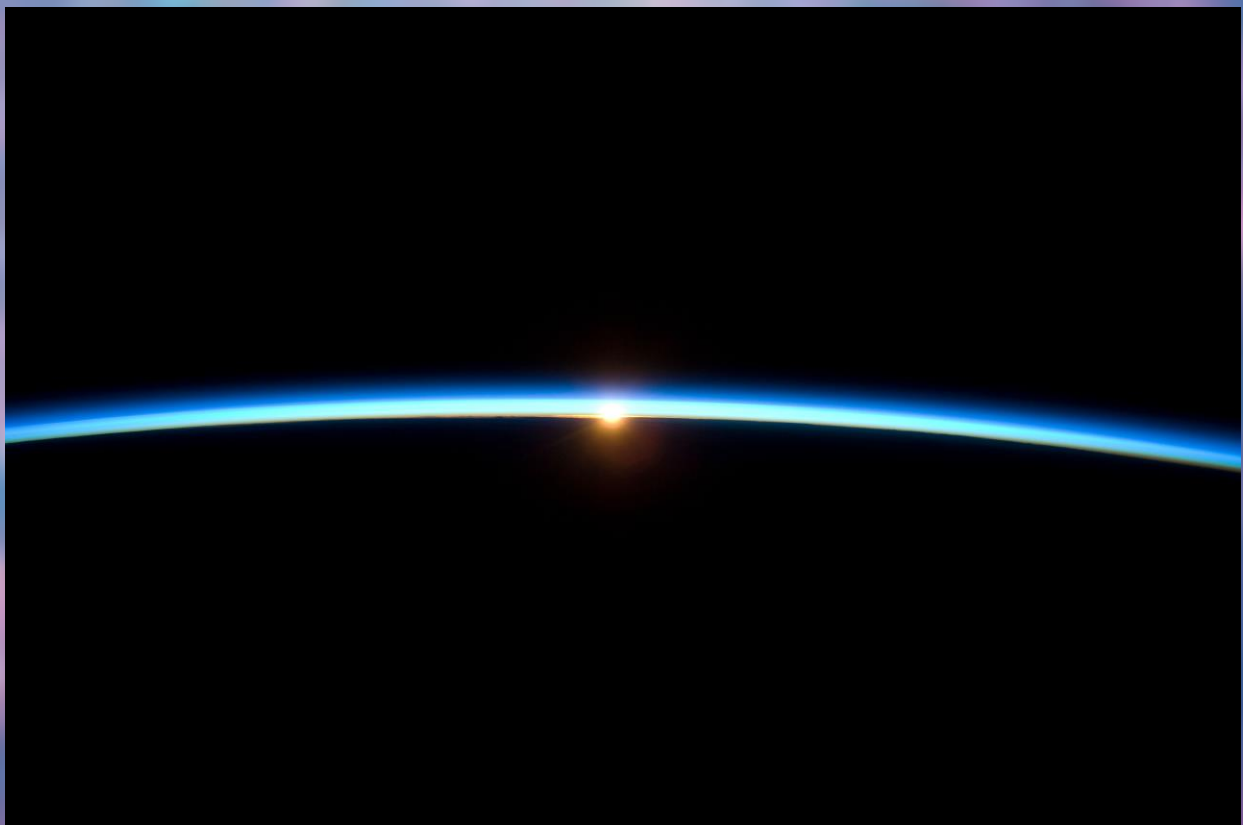


RADIACIÓ CÒSMICA I ATMOSFERA

**Estudi científic de la interacció de la radiació
còsmica amb les diverses capes de
l'atmosfera terrestre.**



Gil Ricart i Serrabassa

Tutor del treball: David Corrons i Usón

La Salle Manlleu

2n de Batxillerat C

Curs 2020/21

A la meva família que m'ha fet costat en aquests moments tant complicats i ha fet possible el resultat obtingut.

Vull donar les gràcies al meu tutor David Corrons, ja que sense ell la realització del treball no hagués estat possible. També agrair la feina realitzada pels companys del projecte ADMIRA i la possibilitat de disposar d'un detector de partícules Minipix pel treball. Per últim, vull donar les gràcies també al Rafael Ballabriga, professor de la Universitat de Suïssa i investigador del CERN pel seu suport i ajuda en alguns aspectes del marc pràctic i sobretot pels seus consells a l'hora de realitzar l'estudi.

No vull creure, vull saber.

CARL SAGAN

ÍNDIX

ÍNDIX	5
RESUM	7
ABSTRACT	7
0. INTRODUCCIÓ.....	8
1. HIPÒTESI	10
2. OBJECTIUS.....	11
3. RAIGS CÒSMICS.....	12
3.1. Antecedents: història i descobriment.....	12
3.2. Tipus de radiació.....	13
3.2.1. Radiació no ionitzant	14
3.2.2. Radiació ionitzant	14
3.3. Com i on es generen?.....	16
3.3.1. Composició i energia	16
3.3.2. Formació i desplaçament.....	16
3.3.3. Explosions de supernoves	17
4. ATMOSFERA TERRESTRE	19
4.1. Composició de l'atmosfera.....	19
4.2. Evolució de l'atmosfera.....	21
4.2.1. Origen	21
4.3. Estructura de l'atmosfera	21
4.3.1. Capes principals	22
4.3.1.1. <i>Composició capes importants</i>	23
4.4. Radiació a l'atmosfera	24
4.4.1. La magnetosfera Terrestre.....	24
4.4.2.1 <i>Interacció dels raigs còsmics amb la magnetosfera</i>	24
4.4.2. Radiació i atmosfera.....	25
4.4.2.2. <i>Cascada de raigs còsmics</i>	26

5. DETECTORS DE PARTÍCULES.....	28
5.1. Història, descobriment i primers detectors	28
5.1.1. Cambres de boira	28
5.1.2. Cambres de bombolles	28
5.2. Funcionament, mecànica i detecció	29
5.2.1. Funcionament d'un detector.....	29
5.3. Minipix i PIXet Pro	29
5.3.1. PIXet Pro	30
6. MARC PRÀCTIC.....	31
6.1. Dades i procedència	31
6.1.1. Variables fixes	31
6.1.2. Variables no fixes	31
6.1.3. Dades dels satèl·lits	32
6.1.4. Dades obtingudes amb Minipix.....	33
6.2. Octave, anàlisi de dades.....	33
6.2.1. Crear imatge a través d'una matriu.....	34
6.2.2. Sumar els píxels que estan ocupats.....	35
6.2.3. Sumar la matriu per obtenir l'energia total.....	36
6.3. Dades recollides en Excel.....	37
6.3.1. Excel radiació de fons Minipix.....	37
6.4. Imatges radiació de fons.....	38
6.4.3. Imatges SATRAM.....	39
6.5. Histogrames	41
7. CONCLUSIONS.....	46
8. LIMITACIÓ I PROSPECTIVA	49
ÍNDEX D'IL·LUSTRACIONS	50
BIBLIOGRAFÍA	52

RESUM

En aquest estudi s'investiga la interacció de la radiació còsmica amb les diverses capes de l'atmosfera terrestre amb l'objectiu de trobar una relació entre les dues parts. Està constituït per dades del satèl·lit Proba-V, de l'Estació Espacial Internacional i també preses a la superfície terrestre amb el dispositiu Minipix. Es fa un anàlisi i un buidat de totes les dades utilitzant diversos *scripts* del programa Octave, realitzant imatges de radiació, comptant l'ocupació i sumant l'energia de les mostres. En els resultats es pot observar com sí que hi ha una interacció entre els raigs còsmics i l'atmosfera terrestre. A causa de les cascades de raigs còsmics hi ha més radiació a la termosfera que a l'exosfera, valor que a mida que es descendeix de la termosfera disminueix fins arribar als valors mínims de radiació còsmica a la superfície terrestre.

Paraules clau: radiació còsmica, atmosfera, satèl·lit, Minipix, detectors de partícules, ISS, Proba-V.

ABSTRACT

This study mainly focused on the interaction of cosmic radiation with the different layers of the Earth's atmosphere in order to find a relationship between both. Is represented by satellite Proba-V and International Space Station data as well as own data measured with the Minipix on the Earth's Surface. All data is analysed with various scripts from Octave making radiation images, counting pixels occupancy as well as equalling the total energy. The results from this research affirm there is a relation between space radiation and the atmosphere. Because of the cosmic ray cascades the amount of radiation in the thermosphere is more than in the exosphere but when it's descending from the thermosphere it goes down. The amount of radiation on the Earth's surface is very little.

Key words: space radiation, atmosphere, satellite, Minipix, particle detectors, ISS, Proba-V.

0. INTRODUCCIÓ

El projecte ADMIRA ha estat una gran ajuda pel treball. Tot i les circumstàncies, es va anar un dia a la facultat de física de la Universitat de Barcelona on diverses xerrades van ser impartides per professors i experts tant en el tema dels detectors de partícules com en la radiació còsmica. També es van realitzar diverses conferències digitals les quals han set un gran reforç.

Han passat ja més de 100 anys des del descobriment de la radiació còsmica a mans de Victor Hess i actualment continua sent un tema poc conegut per la societat i també pels que l'estudien diàriament. Des de llavors s'han estat realitzant estudis i investigacions i cada vegada se'n té més coneixement, però tot i això encara queden moltes incògnites per resoldre. Aquest treball de recerca constitueix un estudi de la interacció de la radiació còsmica de fons amb les diverses capes de l'atmosfera terrestre per tal d'observar si aquesta influeix en els nivells de radiació a alçades distintes.

La principal motivació per a la realització d'aquest treball va ser la passió pels fets succeïts a l'espai i amb ells la radiació còsmica. Des de ben petit que l'interès per aquests fets ha estat present i al tenir l'oportunitat de realitzar una recerca envers el tema ha estat aprofitada. No obstant, el projecte ADMIRA també ha ajudat al fet que la passió per l'assumpte augmentes. Les conferències impartides pels diversos professors d'universitat i investigadors de prestigi han estat una gran ajuda per la realització del treball.

El treball tracta la realització d'un estudi científic de l'aflluència de radiació còsmica al planeta Terra després d'haver estudiat els principals aspectes d'aquesta. El projecte es pot separar en dos grans apartats: el primer que és la part teòrica i el segon que tracta la part pràctica. En la part teòrica es tractaran els temes de la radiació còsmica explicant la història, els tipus i la formació; l'atmosfera terrestre tractant la composició i les diferents capes i finalment els detectors de partícules. En la part pràctica es realitzarà un estudi sobre la radiació còsmica i la seva interacció amb l'atmosfera terrestre. Per dur a terme la part pràctica s'han marcat un seguit d'objectius que seran presentats a continuació.

L'objectiu principal d'aquest treball és realitzar un estudi de la radiació còsmica de fons i la seva interacció amb les diverses capes de l'atmosfera terrestre per determinar si aquesta influeix en l'aflluència de radiació en la superfície del planeta. Arrel d'aquest objectiu principal han sorgit una sèrie d'objectius secundaris, que han ajudat al treball a tirar endavant:

- Obtenir i comparar dades de radiació còsmica de fons de quatre satèl·lits situats a diferents alçades.

- Utilitzar el dispositiu Minipix juntament amb el programa PIXet Pro per detectar radiació còsmica de fons a la superfície terrestre.
- Treballar i analitzar les dades obtingudes utilitzant guions del programa informàtic Octave.
- Realitzar histogrames amb els resultats obtinguts per arribar a unes conclusions.

A través d'aquests objectius secundaris s'ha realitzat l'estudi en el qual s'ha investigat la interacció de la radiació còsmica amb l'atmosfera terrestre. Així doncs, amb aquest treball es pretén estudiar la interacció de la radiació còsmica provinent de l'espai exterior un cop impacte amb l'atmosfera terrestre i el comportament de les diverses capes d'aquesta amb les partícules còsmiques.

Quan es va proposar realitzar el treball de recerca envers el tema de la radiació i dels detectors de partícules es va acceptar ràpidament. Es va trobar que seria un tema molt interessant, molt innovador i amb moltes sortides per escollir. De totes aquestes, el tema triat va ser el de la radiació còsmica. El tema de l'espai i dels satèl·lits sempre s'ha trobat molt interessant i es va pensar que seria una bona manera d'aprendre i conèixer més coses sobre aquest.

Fa al voltant de tres anys es va sentir a parlar per primera vegada de la radiació còsmica, però mai s'havia indagat molt a fons en el tema. Des que es va realitzar la primera trobada amb el projecte ADMIRA que ens van impartir una xerrada sobre els raigs còsmics que es va tenir clar que el tema del treball de recerca seria aquest. No es podia deixar escapar l'oportunitat d'investigar envers el tema i sobretot de poder utilitzar i treballar amb els innovadors dispositius Minipix. Un cop es va començar a investigar sobre el tema escollit es va descobrir que tot i que hi havia diversos estudis, no era un tema molt tractat i tampoc molt conegut.

Considero que sobre el tema escollit se'n coneixen moltes coses i això ajudarà a complir els objectius del treball, ja que l'interès serà més elevat i aportarà nous coneixements. Però penso que no només me'ls aportarà a mi sinó que espero que també porti coneixements nous a les persones que el llegeixin i que així coneguin millor aquest tema tan innovador de la radiació còsmica i els detectors de partícules.

Finalment, es creu que és un tema el qual molta gent no coneix tot i que n'ha sentit a parlar. Aquest és un factor que farà que la gent tingui ganes de llegir-lo, ja que indagaran en un tema poc conegut.

1. HIPÒTESI

Els raigs còsmics, provinents de l'espai exterior, al topar amb l'atmosfera terrestre disminueixen. Això és degut al fet que les diverses capes d'aquesta absorbeixen les partícules carregades i provoca que hi hagi un nivell de radiació molt més elevat a l'espai exterior que a la superfície terrestre.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal que es pretén dur a terme en aquest treball és elaborar un estudi científic per estudiar si l'atmosfera intervé en els nivells de radiació que hi ha a la superfície terrestre en comparació amb els que hi ha a l'espai exterior. Derivant d'aquest objectiu principal hi ha diversos objectius secundaris:

- Obtenir i comparar dades de radiació còsmica de fons de quatre satèl·lits situats a diferents alçades.
- Utilitzar el dispositiu Minipix juntament amb el programa PIXet Pro per detectar radiació còsmica de fons a la superfície terrestre.
- Treballar i analitzar les dades obtingudes utilitzant guions del programa informàtic Octave.
- Realitzar histogrames amb els resultats obtinguts per tal de contrastar la nostra hipòtesi inicial.

3. RAIGS CÒSMICS

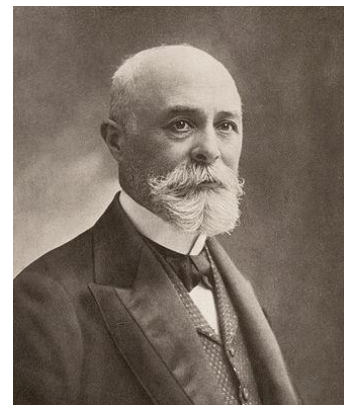
A la nostra societat cada vegada hi ha més curiositat pels fenòmens que passen fora del nostre planeta, la Terra. S'estudia cada cosa que passa, cada canvi que es percep detalladament per tal de conèixer el que envolta la Terra. Es fabriquen telescopis, observatoris i hi ha milers de satèl·lits que orbiten des de fa anys. Aquests s'encarreguen de recaptar dades per tal de poder estudiar detalladament què passa a l'espai.

Un dels fenòmens que és estudiat, en part, gràcies als satèl·lits és el dels raigs còsmics, partícules subatòmiques que provenen de l'espai exterior i que viatgen a gran velocitat.

3.1. Antecedents: història i descobriment

Els raigs còsmics van ser descoberts l'any 1912 per Victor Hess.

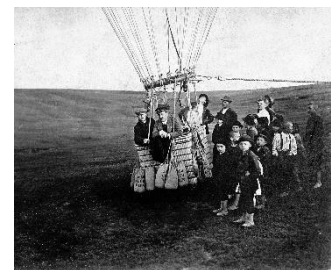
Retrocedim fins a l'any 1896 on Henry Bequel (1852-1908) va descobrir la radioactivitat. Utilitzà urani sobre un paper fotogràfic per estudiar les propietats de la fluorescència i va observar com aquest paper es tronava totalment negre en algunes parts. En observar aquest fenomen va ser conscient que havia descobert una nova propietat dels elements, el que actualment s'anomena radioactivitat. En aquell moment es creia que tota la radioactivitat era generada per elements de la superfície de la Terra.



Il·lustració 1: Henry Bequel (1852-1908)

Victor Hess va començar a dubtar de la procedència de la radiació. Creia que no només provenia dels elements radioactius, sinó que també n'hi havia procedent de l'espai. Va decidir començar una sèrie d'investigacions per tal de donar resposta a la seva hipòtesi.

L'any 1910 Hess va dur un electroscopi¹ a la punta més alta de la torre Eiffel i va aconseguir demostrar que els nivells de radiació a una alçada de 276 metres era superior a la mesurada a la base de la torre.



Il·lustració 2: Viatge de Hess.

¹ Aparell utilitzat per mesurar la càrrega elèctrica d'un cos.

Arran dels resultats obtinguts, l'any 1912 va decidir realitzar una versió millorada de l'experiment. Va aconseguir tres electròmetres² Wulf i els va col·locar en un globus aerostàtic. Un cop col·locats allà, va llençar el globus al cel i va mesurar la radiació que hi havia a una alçada de 5.400 metres. Després de realitzar aquest experiment diverses vegades va obtenir els resultats que s'esperava, la radiació era gairebé quatre vegades superior a la de la superfície terrestre.



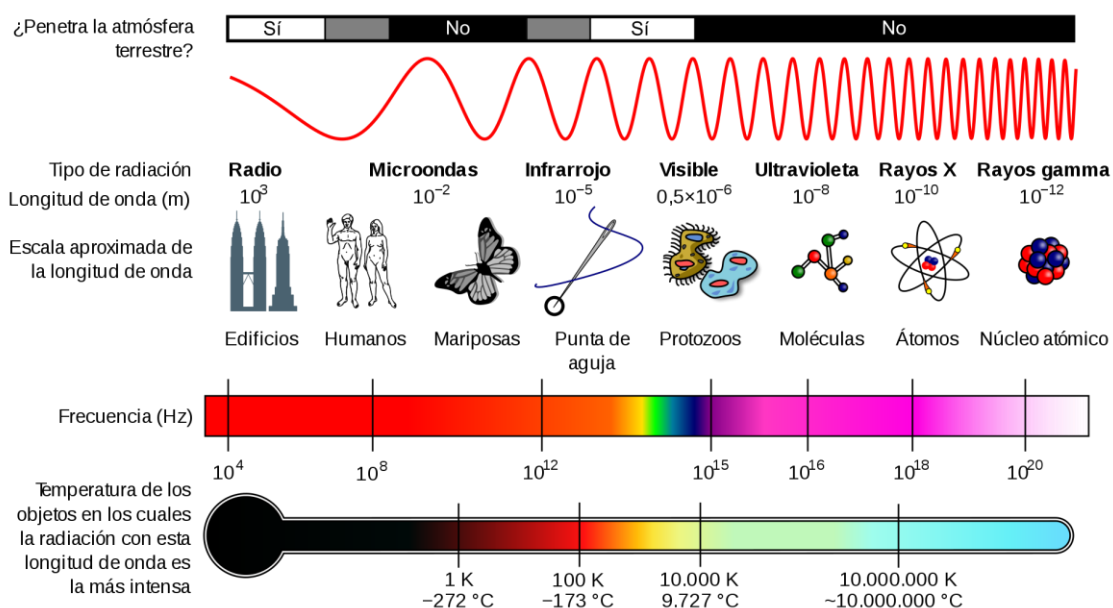
Il·lustració 3: Eclipsi solar.

Per últim, Hess va demostrar que aquesta radiació no provenia del Sol, ja que va mesurar la radiació a 5.400 metres amb el mètode anterior durant un eclipsi solar³. Va poder demostrar que el nivell de radiació era molt semblant al mesurat quan no hi havia l'eclipsi.

Victor Hess va rebre el premi Nobel de Física l'any 1936 juntament amb Anderson pel descobriment dels raigs còsmics.

3.2. Tipus de radiació

La radiació existent a la terra es pot separar en dos grans grups, la radiació ionitzant i la no ionitzant. Dintre d'aquests es poden fer altres distincions, però en aquest treball s'indagarà en la radiació ionitzant ja que és la que emeten els raigs còsmics. (Imatge totes les radiacions)



Il·lustració 5: Esquema dels diferents tipus de radiació electromagnètica existents al planeta i les seves

² Instrument elèctric destinat a mesurar la càrrega elèctrica.

³ Fenomen astronòmic produït quan la lluna es posa per davant del sol vist des de la Terra.

En la imatge anterior es poden veure els diferents tipus de radiació electromagnètica que existeixen al planeta de menys ionitzant a més. S'observa que les radiacions menys penetrants són les que tenen una longitud d'ona més elevada i alhora una freqüència més baixa. Això és degut a que les que són més ionitzats tenen una alta energia i per tant, una freqüència elevada i una longitud d'ona molt petita.

3.2.1. Radiació no ionitzant

La radiació no ionitzant és aquella que no és capaç de ionitzar⁴ àtoms a causa de la seva poca energia. Aquesta radiació no és tan perjudicial per als humans com ho és la ionitzant, ja que la freqüència és considerada baixa i en conseqüència els fotons tenen una energia més baixa.

3.2.2. Radiació ionitzant

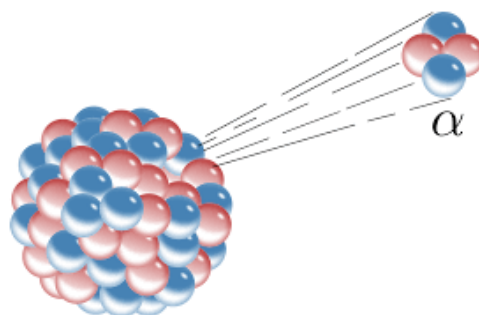
La radiació ionitzant és aquella que té la capacitat de ionitzar àtoms a causa de la seva elevada energia. Està formada per partícules subatòmiques carregades energèticament que viatgen a grans velocitats i també per ones electromagnètiques d'alta energia enregistrades en l'espectre electromagnètic de la il·lustració 4 que inclouen els raigs ultraviolats superiors, els raigs X i els raigs gamma. Aquesta radiació es pot formar de diverses maneres.

Una i la més coneguda és a través del procés de desintegració radioactiva, procés en el qual un àtom amb un nucli atòmic inestable perd energia en forma de radiació. Aquest procés genera majoritàriament radiació ionitzant ja que l'energia de la desintegració radioactiva sol ser sempre molt més elevada a la necessària per tal de ionitzar un àtom.

Dintre de la desintegració radioactiva s'hi diferencien tres processos de desintegració diferents: la desintegració alfa, beta i gamma.

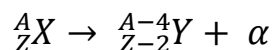
→ Desintegració alfa:

Les partícules d'aquesta desintegració són iguals a un nucli d'heli, formades per dos protons i dos neutrons fortament lligats. Per tant es tracta de partícules pesants i amb una càrrega doblement positiva (2+). Quan un nucli emet una partícula alfa el seu nombre atòmic Z disminueix dues unitats i el màssic, A , en 4 unitats. Es pot simbolitzar de la següent manera:



Il·lustració 6: Desintegració alfa

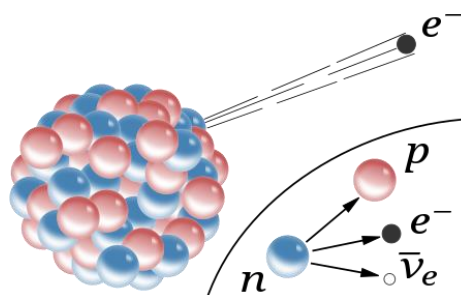
⁴ Separar una molècula en ions.



→ Desintegració beta:

La desintegració beta agrupa dos processos diferents: la desintegració β^- i la desintegració β^+ . Els nuclis que experimenten aquest tipus de radiació alteren el nombre atòmic Z, però no el nombre màssic A.

La desintegració β^- és el resultat de la desintegració d'un neutró del nucli que es transforma en un protó donant lloc a l'emissió d'un electró i d'un antineutrí⁵. Això provoca que el nucli inicial de l'àtom es transformi en un nucli atòmic diferent que té el mateix nombre màssic que l'original però el seu nombre atòmic és una unitat més gran.

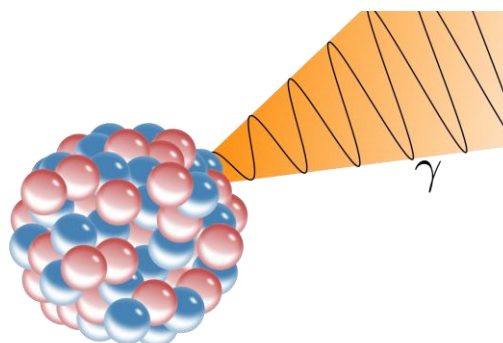


Il·lustració 7: Desintegració beta.

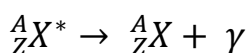
La desintegració β^+ és el resultat de la desintegració de un protó del nucli que es transforma en un neutró donant lloc a l'emissió d'un positró⁶ i d'un neutrí⁷. El nucli inicial de l'àtom es transformarà en un nucli atòmic diferent que tindrà el mateix nombre màssic que l'original, però el seu nombre atòmic disminuirà una unitat.

→ Desintegració gamma

L'emissió de raigs gamma és utilitzada pel nucli d'un àtom per desprendre's de la seva energia d'excitació. Un nucli que acaba de patir una desintegració alfa o beta es pot quedar en un estat d'excitació, per sortir-ne emetrà un fotó gamma (γ). El procés es pot simbolitzar de la següent manera:



Il·lustració 8: Desintegració gamma.



Majoritàriament, després d'un procés de desintegració alfa o beta en un nucli, hi sol haver un procés de desintegració gamma ja que el nucli queda en estat excitat.

Els raigs còsmics també són considerats un tipus de radiació ionitzant ja que com bé diu la definició en el segon paràgraf de l'apartat 3. Raigs còsmics, els raigs còsmics són

⁵ Partícula oposada al neutró. Posseeix la mateixa massa però la seva càrrega elèctrica és la contrària.

⁶ Partícula oposada a l'electró. Posseeix la mateixa massa però la càrrega elèctrica és la contrària. Té càrrega positiva.

⁷ Partícula elemental amb una massa gairebé nul·la, sense càrrega elèctrica ni color.

partícules subatòmiques que provenen de l'espai exterior i que viatgen a gran velocitat. Definició que coincideix amb la d'una partícula ionitzant.

3.3. Com i on es generen?

Els raigs còsmics són generats fora del globus Terraqüi però com i on són formats? En aquest apartat s'estudiarà d'on provenen juntament amb la composició i energia d'aquests.

3.3.1. Composició i energia

Gairebé el 90% dels raigs còsmics que impacten amb l'atmosfera Terrestre són protons⁸, nuclis d'àtoms d'hidrogen que han deixat l'àtom de banda i viatgen sols. Un 9% són partícules alfa⁹ i l'1% restant són electrons¹⁰. De tant en tant també és possible que arribin partícules més pesants que les anteriors com ara àtoms de liti, beril·li o bor.

La massa de les partícules que formen els raigs còsmics és molt petita, de l'ordre de $1 \cdot 10^{-27}$ kg els protons i $1 \cdot 10^{-31}$ kg els electrons. Això provoca que la velocitat amb la qual viatgen a través de l'univers sigui gairebé la de la llum i que la seva energia sigui immensa. Els que viatgen a energies més altes tenen cent milions de vegades més energia que les partícules que es produeixen a l'accelerador de partícules¹¹ més potent de l'univers.

3.3.2. Formació i desplaçament

L'origen dels raigs còsmics encara actualment és desconegut. S'han estat fent varis estudis i tot apunta que la gran majoria dels que interactuen amb la Terra són fruit d'explosions de supernoves (apartat 3.3.3). Però perquè encara no en sabem l'origen?

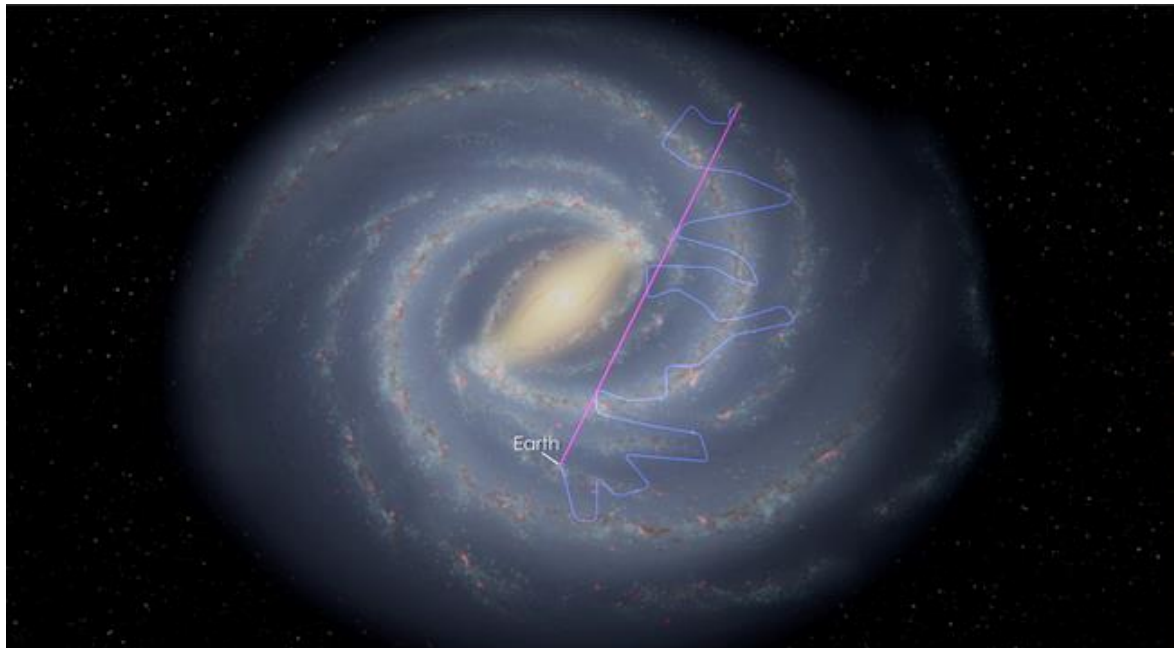
Això és degut a que les partícules que formen els raigs còsmics tenen càrrega elèctrica (positiva en el cas dels protons i negativa en el cas dels electrons) i interactuen amb els diferents camps elèctrics que es troben durant el trajecte.

⁸ Partícula subatòmica amb càrrega positiva.

⁹ Partícules formades per dos protons i dos neutrons units.

¹⁰ Partícules subatòmiques que orbiten el nucli de l'àtom i tenen càrrega negativa.

¹¹ Màquina que utilitza camps electromagnètics per accelerar partícules a altes velocitats i energies.



Il·lustració 9: Diferència de trajectòria a través de l'espai entre un raig còsmic i un fotó.

En la imatge anterior es veuen les trajectòries d'un fotó i d'un raig còsmic que viatgen a través de la Via Làctia. Si s'observa la imatge es poden detectar dues trajectòries aparentment diferents. La de color rosa és la que fa un fotó, que al no tenir càrrega elèctrica no interactua amb cap camp elèctric i el recorregut que realitza és totalment recte. En canvi, la trajectòria d'un raig còsmic es pot veure com no segueix cap patró establert. La seva direcció i el seu sentit varien en funció dels camps elèctrics que l'atrauen o el repelen fent que sigui totalment inexacte.

A causa de la càrrega elèctrica de les partícules que formen els raigs còsmics encara no se'n sap el seu origen exacte, ja que quan interactuen amb la terra és pràcticament impossible determinar el seu origen. Cada un forma una trajectòria totalment diferent de l'anterior i això posa les coses molt difícils als científics que treballen per tal de trobar un origen comú en aquests.

3.3.3. Explosions de supernoves

Com bé s'ha nombrat en l'apartat 3.3.2. Formació i desplaçament, tot apunta que els raigs còsmics que impacten amb l'atmosfera Terrestre provenen d'explosions de supernoves. Però en què consisteixen?

Les estrelles evolucionen al llarg del temps i en funció de la seva massa poden viure des de milions d'anys fins a trilions d'anys les menys pesants.

Una explosió de supernova es du a terme durant les últimes etapes evolutives d'una estrella massiva. L'estrella que passa per aquest procés acaba convertint-se en una estrella de neutrons¹² o en un forat negre¹³. El procés d'explosió d'una supernova allibera molta lluminositat i altes energies.



Il·lustració 10: SN 1994D (punt brillant que es veu a la part inferior de la imatge)

¹² Nucli col·lapsat d'una estrella massiva. Té un radi de l'ordre de 10 km i una massa aproximada de 1,4 sols.

¹³ Regió de l'espai temps amb una gravetat enorme que fa que res es pugui escapar d'allà.

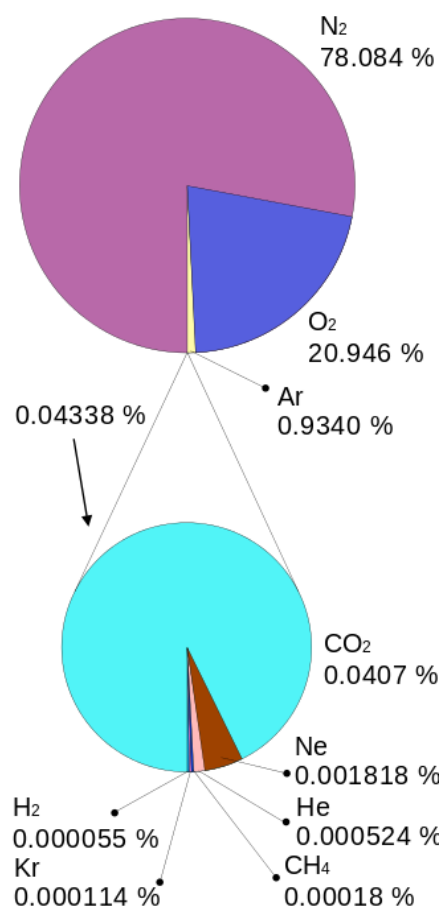
4. ATMOSFERA TERRESTRE

L'atmosfera és una capa fina de gasos la qual envolta la Terra i es manté unida a aquesta gràcies a la força de la gravetat. Entre les funcions més considerables d'aquesta, és important destacar que proveeix els gasos imprescindibles per la vida, distribueix l'energia del sol, forma part del cicle hidrològic i ens protegeix dels raigs còsmics.

Té un gruix aproximat de 100 quilòmetres i la frontera amb l'espai exterior és considerada la Línia de Karman¹⁴. Tot i tenir aquest gruix, el 75% de la massa total se situa en els 11 primers quilòmetres sobre la superfície de la Terra. Entre els gasos que la formen, els més abundants són el nitrogen amb aproximadament quatre cinquenes parts i també l'oxigen amb una cinquena part. La resta de gasos hi són presents amb menors quantitats.

4.1. Composició de l'atmosfera

L'atmosfera està composta principalment per tres gasos que són el nitrogen, l'oxigen i l'argó. Però no només s'hi poden trobar aquests tres gasos sinó que també se n'hi poden trobar molts d'altres. Els anomenats gasos traça componen una dècima part de l'atmosfera i són l'ozó, el diòxid de carboni i el metà. En l'atmosfera també s'hi pot trobar vapor d'aigua que prové de la superfície terrestre. Aquest últim gas és variable entre un 0 i un 4% depenent de l'espai i de l'hora del dia. Moltes substàncies naturals són presents en aire sense filtrar, substàncies que provenen de la superfície terrestre com ara pols, pol·len, i fins i tot cendra volcànica. Per últim s'hi poden trobar alguns contaminants industrials emesos per fàbriques entre d'altres com poden ser el clorur i el diòxid de sofre (SO₂).



Il·lustració 11: Abundància de gasos en % a l'atmosfera.

¹⁴ Línia imaginària que separa l'atmosfera amb l'espai exterior.

Taula 1: Abundància de gasos en l'atmosfera terrestre. Nota. Recuperada de Wikipedia (21 Setembre 2020)

Gas	Volum (ppmv)
Nitrogen (N ₂)	780.840
Oxigen (O ₂)	209.460
Argó (Ar)	9.340
Diòxid de carboni (CO ₂)	387
Neó (Ne)	18.18
Heli (He)	5,24
Metà (CH ₄)	1,79
Criptó (Kr)	1,14
Hidrogen (H ₂)	0,55
Òxid de nitrogen (N ₂ O)	0,3
Xenó (Xe)	0,09
Ozó (O ₃)	0,0 a 0,07
Diòxid de nitrogen (NO ₂)	0,02
Iode (I)	0,01
Monòxid de carboni (CO)	0,1
Amoníac (NH ₄)	traces

En la taula anterior hi veiem reflectits els diferents gasos que es poden trobar a l'atmosfera i que s'han nomenat anteriorment. Estan ordenats de major volum a menys on el nitrogen és el més abundant i el monòxid de carboni el menor.

A través de la informació de la taula es pot calcular el tant per cent d'un gas a través del següent factor de conversió aplicable a tots els altres gasos:

$$780.840 \text{ ppmv} \cdot \frac{1}{10.000} = 78,084\%$$

Com bé s'ha explicat anteriorment, a l'atmosfera hi ha dues regions ben diferenciades a nivell de composició de l'aire. Aquestes són l'homosfera i l'heterosfera.

- **Homosfera:** Capa que ocupa els primers 80 km de l'atmosfera. L'aire està uniformement repartit, ja que els gasos estan ben barrejats.
- **Heterosfera:** Capa que ocupa dels 80 km a la Línia de Karman. En aquesta regió, els diferents gasos no estan barrejats i això comporta que aquests estiguin disposats en diferents capes. El gas més pesat es disposa a la capa més baixa i a mesura que l'alçada va incrementant, els gasos que s'hi poden trobar són cada vegada menys pesats.

4.2. Evolució de l'atmosfera

La Terra existeix des de fa 4500 milions d'anys i des de llavors, aquesta ha anat evolucionant al llarg del temps. La seva atmosfera, doncs, també ha anat evolucionant al llarg dels anys fins a arribar a la que disposem avui dia. En aquest apartat s'estudiarà l'evolució d'aquesta capa de gasos que ens envolta i ens proporciona els gasos imprescindibles per a la vida.



Il·lustració 12: Atmosfera terrestre vista des de l'espai.

4.2.1. Origen

No es pot dir que el planeta Terra ha tingut atmosfera des dels seus inicis. S'han realitzat diversos estudis envers aquest tema i actualment es creu fermament que l'atmosfera va estar formada mitjançant els gasos alliberats pels volcans.

En els seus inicis el planeta tenia una temperatura molt elevada i una proporció molt i molt petita de gasos poc pesats i això va provocar que l'atracció gravitatòria de la Terra no fos capaç de retenir aquests gasos. Tot i això, una petita proporció d'hidrogen s'hi va quedar retinguda. Aquest element tan poc pesat es va ajuntar amb altres elements per formar compostos més pesats i així quedar-s'hi retingut. Es va ajuntar amb el carboni per formar metà (CH_4), amb el nitrogen per formar amoníac (NH_3) i per últim amb l'oxigen per formar aigua (H_2O). Aquests gasos eren majoritàriament els que procedien de la gasificació volcànica. En aquest moment no es podia trobar oxigen (O_2) lliure a l'atmosfera.

Abans que arribés la vida al planeta, l'atmosfera va patir alguns canvis més. El més destacat va ser l'aparició d'oxigen lliure gràcies a la fotòlisi. La fotòlisi és una reacció fotoquímica on gràcies a la radiació ultraviolada i a la llum solar una molècula és capaç de dividir-se en dos àtoms clarament diferenciats. El vapor d'aigua, gràcies a la fotòlisi es va dividir en molècules d'oxigen i molècules d'hidrogen i gràcies a això va començar a aparèixer vida al planeta Terra.

Des de llavors la capa de gasos que envolta el planeta ha anat variant i ha anat canviant la seva composició al llarg dels anys.

4.3. Estructura de l'atmosfera

Com bé s'ha explicat anteriorment, el 75% de la massa de l'atmosfera terrestre es situa en els 11 primers quilòmetres a causa de la compressió de gasos.

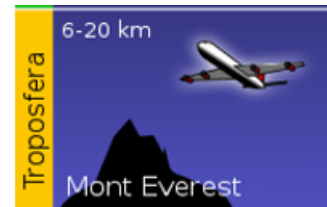
En la major part de l'atmosfera hi ha els mateixos gasos excepte de la capa d'ozó que és l'única part amb una composició de gasos diferent a la resta. Tot i això, la temperatura varia al llarg dels 100 quilòmetres i això provoca que hi puguem diferenciar cinc capes: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera i exosfera. Les divisions entre les diverses capes s'anomenen tropopausa, estratopausa, mesopausa, i termopausa respectivament.

4.3.1. Capes principals

Des de la superfície de la terra fins a l'espai les capes són les següents:

- **Troposfera (0-15 km)**

La troposfera és la capa més densa de totes i conté el 80% de la massa atmosfèrica. Al ser la capa que està en contacte amb la biosfera i la hidrosfera conté quantitats variables de vapor d'aigua i de diòxid de carboni així com també algunes partícules en suspensió.



En aquesta capa és on es produeixen els fenòmens meteorològics que intervenen en els canvis de temps al planeta Terra (vents, núvols...).

- **Estratosfera (15-50 km)**

L'estratosfera és la capa superior a la troposfera. Aquesta presenta una quantitat de molècules d'ozó que absorbeixen radiació electromagnètica. Això provoca que el gradient de temperatura en aquesta capa sigui creixent, al revés que les altres capes que és decreixent.



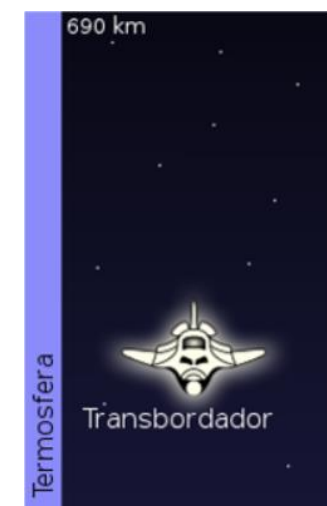
- **Mesosfera (50-85 km)**

La mesosfera conté un 0,1% de la massa de l'aire total de l'atmosfera Terrestre. És important degut a la ionització i a les reaccions químiques que hi tenen lloc.



- **Termosfera (85-690 km)**

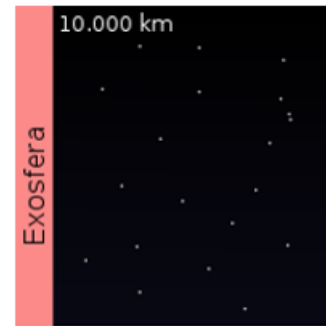
La termosfera conté un 0,1% de la massa de l'aire total de l'atmosfera Terrestre. És important degut a la ionització i a les reaccions químiques que hi tenen lloc.



Aquesta capa es caracteritza per les seves elevades temperatures que poden arribar als 1500°C. En aquesta capa són absorbides les radiacions solars que tenen menor longitud d'ona¹⁵ (raigs gamma i raigs X).

- **Exosfera (690-10.000 km)**

És l'última capa de l'atmosfera terrestre i està en contacte amb l'espai interplanetari. Està composta bàsicament per hidrogen i heli i una petita part d'oxigen. També conté molta pols còsmica.



Il·lustració 13: Capes principals de l'atmosfera terrestre.

4.3.1.1. Composició capes importants

Per la realització del marc pràctic del treball es necessitarà conèixer més a fons tres capes de l'atmosfera terrestre: la troposfera, la termosfera i l'exosfera. En aquest apartat es treballarà la composició d'aquestes tres capes.

- **Troposfera:** La troposfera està formada per un 78,08% de nitrogen, 20,95% d'oxigen, 0,93% d'argó, 0,04% de diòxid de carboni i percentatge d'altres gasos. És la capa més pesada, conté entre un 75 i un 80% de la massa total de l'atmosfera terrestre. Això provoca que la densitat sigui molt alta i que hi hagi moltes partícules a l'aire fet que dificulta a la radiació còsmica a l'hora de travessar-la sense generar cascades de raigs còsmics¹⁶. Per tant és la capa on n'hi ha més.

En aquesta capa s'hi realitzaran mesures amb el dispositiu Minipix.

- **Termosfera:** La termosfera és capaç de ionitzar raigs a causa de la seva elevada temperatura. A causa de la ionització les partícules estan constantment carregades elèctricament provocant que la temperatura de la capa s'elevi sovint als 1000°C. En aquesta capa la densitat és molt baixa, ja que les partícules es troben molt separades entre elles per tant els xocs entre un raig còsmic i una partícula no siguin gaire comuns.

En aquesta capa s'hi han realitzat mesures des de l'Estació Espacial Internacional.

- **Exosfera:** L'exosfera és l'última capa de l'atmosfera on es pot considerar que no hi ha temperatura. L'atracció gravitatòria que rep aquesta capa és gairebé nul·la i el flux de partícules que hi ha és molt i molt baix. Tot i això hi ha la coneguda com a pols còsmica, que forma els cinturons de Van Allen. En aquesta capa com que la densitat és molt baixa, gairebé no hi ha interaccions entre la radiació còsmica i les partícules

¹⁵ Magnitud física que indica la distància entre el principi i el final d'una ona completa.

¹⁶ Explicada a l'apartat 5.4.2.2. del treball.

de la capa. Per tant es pot dir que el flux de radiació còsmica que arriba és gairebé el mateix que a l'espai.

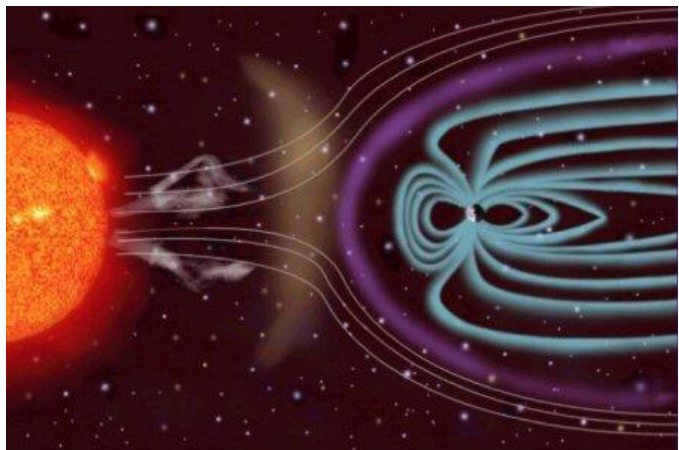
En aquesta capa s'hi han realitzat mesures des del satèl·lit Proba-V (SATRAM).

4.4. Radiació a l'atmosfera

La majoria de raigs còsmics que interaccionen amb la Terra provenen de fora de la Via Làctia. Aquests realitzen una llarga trajectòria fins que no arriben a interaccionar amb el planeta. Aquesta trajectòria, com bé s'ha explicat en l'apartat 3.3.2. Formació i desplaçament, no és precisa més aviat és incerta del tot a causa de la interacció amb els diversos camps magnètics que es troba al llarg del camí. Però què passa quan aquests rajos es van aproximant a la òrbita de la terra?

4.4.1. La magnetosfera Terrestre

La Terra posseeix un camp magnètic creat per les fortes corrents elèctriques generades pel seu nucli i que l'envolta. Però des del sol arriben unes fortes corrents de partícules carregades que provoquen que aquest camp magnètic es vegi desviat i formi una cua, com es pot veure en la imatge (Il·lustració 14). Les línies de color blau són el camp magnètic terrestre i les línies més fines són les partícules del vent solar.



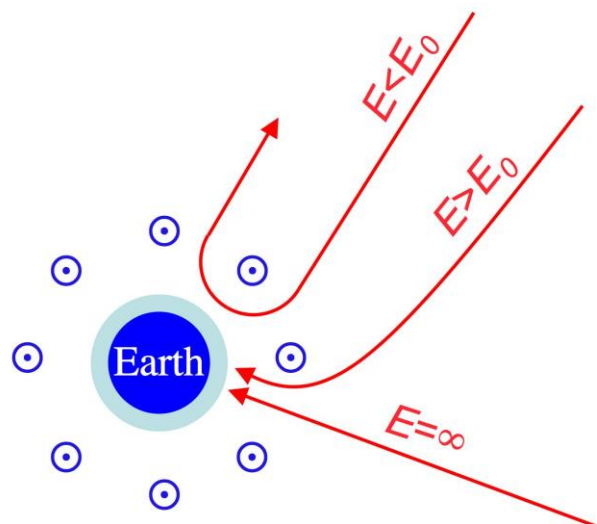
Il·lustració 14: Magnetosfera terrestre i vents solars.

Així doncs, el camp magnètic terrestre per la banda del sol està col·locat a uns 10 o 12 radis terrestres (65.000 km) del nucli de la Terra. En canvi, a la banda oposada al sol, la magnetosfera s'estén fins a uns 100 radis terrestres (650.000 km). Això està determinat pel vent solar.

4.4.2.1 Interacció dels raigs còsmics amb la magnetosfera

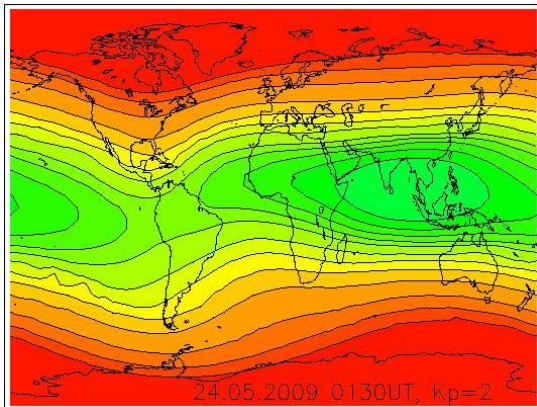
Els raigs còsmics estan carregats elèctricament i per tant interaccionen amb la magnetosfera Terrestre. La següent imatge és la terra vista des del pol nord i s'hi poden veure les diferents interaccions dels raigs còsmics amb la magnetosfera:

- Si un raig còsmic és un protó amb una energia molt elevada ($E=\infty$) no interactuarà amb la magnetosfera i per tant seguirà una trajectòria més o menys recta.
- Si un raig còsmic té una energia molt baixa ($E < E_0$) realitzarà una corba amb el camp magnètic i no interactuarà amb l'atmosfera.
- Si un raig còsmic té suficient energia per travessar el camp magnètic, la seva trajectòria corbarà, perdrà energia i interactuarà amb l'atmosfera.



Il·lustració 15: Diferents interaccions dels raigs còsmics amb la magnetosfera respecte la seva energia.

La latitud i la longitud també són determinants en la interacció dels raigs còsmics amb l'atmosfera. En els pols, el camp magnètic és radial, això provoca que els raigs còsmics tinguin accés pràcticament lliure. En canvi si un raig còsmic s'apropa a l'atmosfera a través de l'equador li serà més complicat, ja que el camp magnètic és major i necessitarà tenir una energia més elevada.



Il·lustració 16: Mapa d'energies (Universitat de Berna) relacionades amb els raigs còsmics i la magnetosfera.

s'apropa a la zona equatorial, l'energia mínima necessària perquè un raig còsmic arribi a l'atmosfera és de 16 GeV (16.000 MeV).

4.4.2. Radiació i atmosfera

L'atmosfera terrestre a mida que es va apropant a la superfície és cada vegada més densa. Les partícules de raigs còsmiques que arriben a col·lapsar amb l'atmosfera cada vegada es troben amb més i més partícules de l'atmosfera i això provocarà que en un moment donat acabin xocant amb alguna d'aquestes i donant lloc a noves partícules.

5.4.2.1. Impacte d'un raig còsmic d'alta energia amb una partícula

Les partícules incidents a l'atmosfera solen tenir interaccions amb alguna de les partícules que es troben a la seva trajectòria. Quan un raig còsmic entra a l'atmosfera amb una elevada energia i topa amb alguna de les partícules atmosfèriques reacciona donant lloc a la formació de noves partícules.

Els raigs còsmics quan xoquen amb una partícula atmosfèrica com que venen amb una energia molt elevada aconseguen ionitzar-la. Un cop l'han ionitzat la partícula allibera un o més nucleons que segueixen la mateixa trajectòria que la partícula incident com a màxim a la mateixa velocitat que aquest anava.

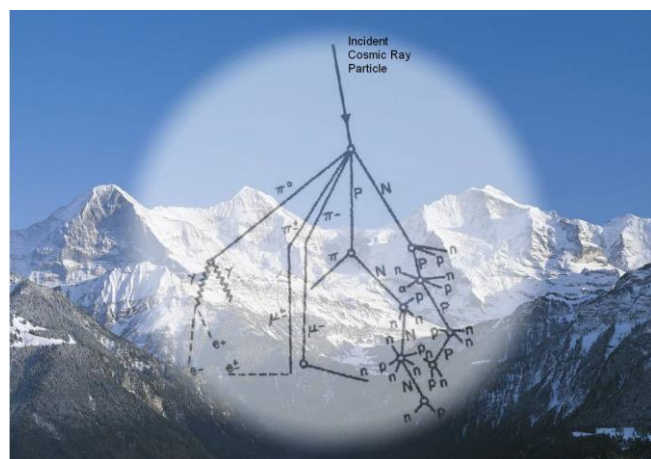
Aquest fet provoca que l'abundància de partícules còsmiques a nivell del mar sigui molt menor que a unes certes alçades. Al topar amb les partícules de l'atmosfera els raigs còsmics no arriben amb la mateixa energia ni de la mateixa forma amb la que ho fan sense haver interaccionat amb l'atmosfera Terrestre.

4.4.2.2. Cascada de raigs còsmics

Com bé s'ha explicat, els raigs còsmics interaccionen amb les partícules de l'atmosfera donant lloc a noves partícules menys pesants com ara protons o neutrons. Aquests, seguiran descendint i tindran possibilitats de tornar a topar amb alguna altra partícula i així successivament donant lloc a la coneguda cascada de raigs còsmics.

Un cop hi ha una col·lisió entre un raig còsmic primari i una partícula atmosfèrica es poden generar dos tipus de partícules:

- Es poden generar partícules amb càrrega (π^\pm) o partícules neutres (π^0) poc pesades i molt inestables. Aquestes, molts cops s'acaben desintegrant en raigs gamma i aquests finalment en electrons que ja no interaccionen amb cap partícula més.
- També es poden generar protons (P) o neutrons (N). Aquestes, al ser més pesades tenen moltes probabilitats de tornar a interaccionar amb alguna partícula atmosfèrica a una menor alçada formant, de nou, partícules noves.



Il·lustració 17: Cascada de raigs còsmics a l'atmosfera.

En aquesta imatge es pot veure l'esquema d'una cascada de raigs còsmics.

A la part superior de la imatge s'observa la trajectòria del raig incident i seguidament les diferents dispersions d'aquest al topar amb una partícula atmosfèrica. Es pot veure com el raig incident es separa en diferents partícules. Les de més a l'esquerra són pions i neutrons que finalment es desintegren en un raigs gamma. Les de més a la dreta, són protons i neutrons que es pot veure que més avall tornen a topar amb altres partícules i es tornen a desintegrar.

La gran majoria de raigs còsmics que incideixen a l'atmosfera topen amb alguna partícula donant lloc a una cascada de raigs còsmics.

5. DETECTORS DE PARTÍCULES

5.1. Història, descobriment i primers detectors

Els detectors de partícules són aparells els quals permeten la visualització, a través de l'ull humà, de la traça d'una partícula. La invenció d'aquests aparells va esdevenir un gran avenç en l'àmbit de l'estudi dels raigs còsmics, ja que es va poder començar a veure les traces que les partícules realitzaven i a través d'aquestes estudiar la composició, procedència, trajectòria, entre d'altres.

5.1.1. Cambres de boira

Charles Thompson Rees Wilson (1911) va inventar les cambres de boira. Són considerades el primer detector de partícules de la història.

Consistia en un pot transparent que al seu interior hi havia vapor sobresaturat formant boira. Quan una partícula carregada travessava el pot deixava el rastre formant ions en el vapor que es transformaven en gotes d'aigua.

Rees Wilson va rebre el premi Nobel l'any 1927 gràcies a la invenció de les càmeres de boira.

5.1.2. Cambres de bombolles

Donald A. Glaser (EUA) va inventar la cambra de bombolles l'any 1952.

Es va basar en el funcionament de la càmera de boira per realitzar el que és considerat el segon detector de partícules. En comptes de posar vapor en un recipient va decidir posar-hi un líquid molt calent, a punt de bullir. Així les traces de les partícules es veien gràcies a les bombolles que es formaven quan la partícula carregada topava amb el pot.

Glaser va ser premiat amb el Nobel de Física l'any 1960 gràcies al descobriment.



Il·lustració 18: Big European Bubble Chamber CERN. Càmera de bombolles més famosa.

La càmera de boira i la càmera de bombolles són els primers detectors de partícules que han existit. Des de llavors la tecnologia i la ciència han avançat fins a crear detectors capaços de ser llençats en òrbita per tal de detectar radiació còsmica a una alçada considerable.

5.2. Funcionament, mecànica i detecció

5.2.1. Funcionament d'un detector

Els detectors de partícules funcionen mitjançant una placa de silici molt sensible de 256x256 píxels. Aquesta nota els impactes de les partícules radioactives. Aquests impactes són transmesos al programa informàtic mitjançant un circuit elèctric el qual va connectat, en el cas del Minipix, a l'USB. Aquesta informació és transmesa a través del port USB al programa informàtic on es mostrarà la matriu de 256x256 píxels de la placa de silici totalment blanca. Quan una partícula impacti amb la placa, a través de tot aquest sistema la traça d'aquesta es veurà al programa informàtic.

Així és com funcionen els detectors de partícules de models semblants al del Minipix que s'ha utilitzat durant el treball.

5.3. Minipix i PIXet Pro

Per la realització del marc pràctic d'aquest treball s'han utilitzat un seguit de dades que han estat obtingudes a través del Minipix, un detector de partícules de la companyia ADVACAM.

Conté un dispositiu timepix i un sensor de silici. Aquests són els encarregats de detectar, analitzar i mesurar l'energia de totes les partícules que topen amb la finestra del detector. Així es pot dir que amb el detector Minipix es pot fer un seguiment de les partícules ionitzants que arriben en un determinat punt.

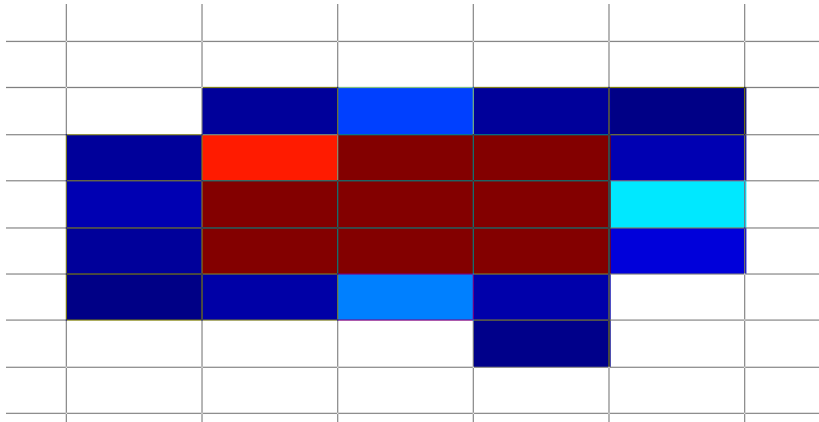


Il·lustració 19: Dispositiu Minipix.

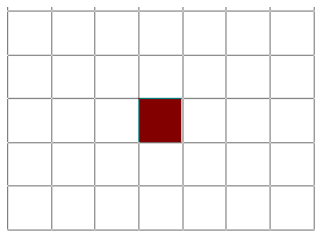
Amb el dispositiu connectat a un ordinador i amb l'aplicació del PIXet Pro, s'obtindran dades de radiació còsmica a nivell de terra.

5.3.1. PIXet Pro

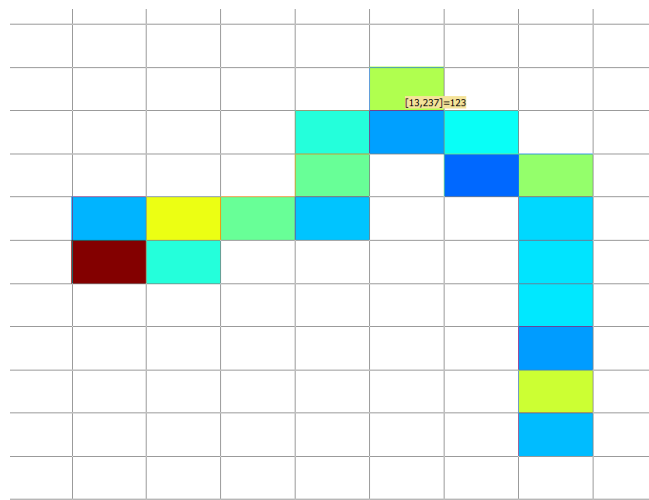
El programa consta d'una matriu de 256 x 256 píxels la qual coincideix amb la placa de silici del detector. Cada partícula que impacta amb la placa és mostrada al programa amb una traça característica. S'han estudiat les partícules alfa, beta i gamma i així és la traça de cada una:



Il·lustració 22: Traça partícula alfa. Imatge pròpia.



Il·lustració 21: Traça partícula gamma. Imatge pròpia



Il·lustració 20: Traça partícula beta. Imatge pròpia.

6. MARC PRÀCTIC

Un cop acabat el marc teòric ens centrem en el marc pràctic que té com a objectiu l'obtenció i anàlisi de dades de tres procedències per tal de trobar una relació entre els raigs còsmics i les diverses capes de l'atmosfera. Per la realització d'aquest estudi s'han utilitzat dades de tres procedències diferents:

- Dades de radiació obtingudes amb el Minipix i el PIXet Pro.
- Dades de radiació procedents de l'Estació Espacial Internacional (ISS).
- Dades de radiació procedents del satèl·lit Proba-V (SATRAM).

Aquestes sempre han estat escollides tenint en compte la procedència i si eren del tot fiables.

6.1. Dades i procedència

Per realitzar l'estudi i anàlisi de les dades escollides s'han tingut en compte unes variables fixes i unes de no fixes. A continuació seran presentades les diferents dades que es tindran en compte i es farà una breu explicació de cada una.

6.1.1. Variables fixes

Durant l'anàlisi de les dades hi ha hagut algunes variables que s'han mantingut fixes en les diverses mesures realitzades pels satèl·lits i manualment. Aquestes han estat escollides acuradament per tal que el resultat de l'estudi sigui el més acurat possible.

- **Temps d'adquisició:** És el temps en què la placa de silici està obtenint imatges de radiació. S'ha acurat un temps de 20 segons.
- **Data d'obtenció de dades:** En els satèl·lits ha estat possible obtenir les dades en la mateixa data, però les dades obtingudes amb el dispositiu no han estat obtingudes el mateix dia. S'han obtingut el 15 de gener del 2016.

6.1.2. Variables no fixes

En aquest apartat seran presentades les variables no fixes utilitzades per l'estudi.

- **Latitud i longitud:** S'ha intentat ser el més acurat possible a l'hora d'analitzar les dades, però no ha estat possible obtenir-ne exactament amb la mateixa latitud i longitud. Això és degut al fet que l'òrbita del SATRAM i la del LUCID no és la mateixa.

- **Alçada:** Al buscar la relació entre els raigs còsmics i les diverses capes de l'atmosfera terrestre s'han tingut en compte tres alçades diverses corresponents a tres capes de l'atmosfera.
- **Energia de la mostra:** Cada mostra obtinguda és diferent i per tant l'energia també ho és. L'energia de la mostra és una variable que indica l'energia de totes les partícules que han impactat amb el detector durant els 20 segons d'adquisició.
- **Nombre de píxels:** Aquesta és una variable que depèn de l'abundància de partícules que impactin amb el dispositiu. Com més partícules impactin, més nombre de píxels ocupats hi haurà i viceversa.
- **Ocupació:** Aquesta variable depèn del nombre de píxels ocupats. Consta del tant per cent de píxels que hi ha ocupats a la placa del detector. Depenent de les partícules carregades que impactin amb el detector, l'ocupació serà major o menor.

Aquestes són les variables que s'utilitzaran per realitzar l'estudi de la radiació còsmica.

6.1.3. Dades dels satèl·lits

Per la realització de la part pràctica s'han aconseguit dades de radiació còsmica provinents de dos satèl·lits diferents. Aquestes dades han estat obtingudes d'internet. Els satèl·lits són el SATRAM i l'Estació Espacial Internacional.

4.1.3.1. Satèl·lit Proba-V (SATRAM)

El SATRAM (Space Application of Timepix based Radiation Monitor) és un monitor de radiació de la plataforma del satèl·lit Proba-V llençat per l'Agència Espacial Europea. Aquest va ser llençat l'any 2013 i la missió era d'observació terrestre. En aquest satèl·lit s'hi va adjuntar el SATRAM, un aparell dotat amb un sensor Timepix amb l'objectiu de la detecció i l'estudi de la radiació còsmica.



Il·lustració 23: Satèl·lit Proba-V.

El satèl·lit orbita la Terra a una alçada de 820 quilòmetres i està a una inclinació de 98,1°. La seva trajectòria és una òrbita polar sol-síncrona. Aquesta és una òrbita en la qual els satèl·lits sempre mantenen fixa la seva orientació respecte al sol per tal que totes les imatges que l'aparell realitza tinguin la mateixa lluminositat i així comparar-les.

El Proba-V és el satèl·lit que ha pres mesures a més alçada. Està situat a l'última capa de l'atmosfera terrestre, a l'exosfera.

4.1.3.2. Estació Espacial Internacional

L'estació espacial internacional (ISS) és un projecte amb l'objectiu de mantenir una estació espacial en òrbita permanent a la Terra. Està formada per diferents mòduls i la capacitat és de fins a 7 astronautes. Està sempre habitada i s'hi realitzen diversos estudis relacionats amb la investigació espacial. Un dels programes d'estudi de la ISS és el dels raigs còsmics i per això hi ha un detector TimPix instal·lat.



Il·lustració 24: Estació Espacial Internacional (ISS).

La ISS està orbitant a uns 400 quilòmetres de la superfície terrestre amb una òrbita terrestre baixa, que oscil·la per sobre dels 200 quilòmetres per sobre del nivell del mar.

L'estació espacial internacional és el satèl·lit amb l'alçada més baixa del que s'han pres dades. Està situat a la penúltima capa de l'atmosfera, la termosfera.

6.1.4. Dades obtingudes amb Minipix

A part de les dades obtingudes dels dos satèl·lits que s'han explicat en l'apartat anterior, durant la part pràctica també s'han obtingut dades de radiació a la superfície terrestre amb el dispositiu Minipix.

Les dades han estat mesurades a la població de Torelló, concretament a una alçada de 508 metres respecte al nivell del mar. S'ha buscat un espai obert, sense vegetació que pugui influir en la detecció de la radiació còsmica i també s'han realitzat mesures en dies de sol els quals no hi ha núvols que puguin influir en els resultats de l'estudi.

6.2. Octave, anàlisi de dades

Un cop s'han obtingut totes les dades, s'ha realitzat un buidatge i analitzar-les. Per realitzar això, s'ha utilitzat el programa informàtic Octave. Aquest és un programa informàtic que funciona amb *scripts* (guions). S'han realitzat tres *scripts* diferents per analitzar totes les dades obtingudes. El primer funciona per agrupar els 20 documents baixats del programa PIXet Pro i formar una imatge conjunta de tots. El segon s'ha realitzat per sumar tots els píxels que hi ha ocupats a la matriu. Finalment, l'últim és per sumar les energies de cada píxel ocupat per obtenir el total d'energia de la mostra obtinguda. Seguidament es farà una explicació dels tres guions que s'han utilitzat per fer el buidatge.

Totes les dades han estat obtingudes en forma de matriu de 256x256 píxels mostrats amb 0. Cada píxel que ha interactuat amb una partícula, passa a ser un nombre diferent de 0 ($n \neq 0$) el qual indica l'energia que ha dipositat.

6.2.1. Crear imatge a través d'una matriu

```
%Read DAC scans
clear all; clc;
close all;
colormap(jet(256));

ncase=1; %image taken with "pseudo microfocus tube"

    csm=0;
    fpath0='C:\Users\gilri\OneDrive\Escriptori\Trellall de recerca\Dades minipix\.txt\Radiació 1\';
    fnamein1Image=',00';
    fext='.txt';
    nframesimage=20;
    % numdigits='3';

nsize=256;

Matrix=zeros(nsize,nsize);
imageTHL=zeros(nsize,nsize);
ArrayTHL=zeros(nsize*nsize,1);
```

Il·lustració 25: Script per realitzar una imatge, part 1. Imatge pròpia.

En la imatge anterior es pot veure la primera part de l'script¹⁷ on es descriuen els diversos noms que s'utilitzaran per a ajuntar els 20 documents que s'han obtingut amb el PIXet Pro i realitzar una imatge.

- **ncase:** Defineix els casos que s'analitzaran a la vegada que en el nostre cas és un.
- **fpath0:** És la ubicació dels fitxers que s'analitzaran.
- **fnamein1Image:** Defineix el nom del primer fitxer de la carpeta.
- **fext:** Defineix el format dels fitxers.
- **nframesimage:** Correspon amb el nombre de fitxers que s'analitzaran.
- **nsize:** És la mida de la matriu que s'analitza.

Al final de la imatge es pot veure com es defineix la matriu en zeros de 256x256.

```
%LOAD IMAGE
ArrayTHLimage=zeros(nsize*nsize,1);
nframesimage=20;
numdigits='2';
for irep=1:nframesimage
    fnin=[fnamein1Image num2str(irep-1,['%0' numdigits 'd']) fext];
    disp(fnin);
    Matrix=load([fpath0 fnin], '-ascii');
    ArrayTHLtmp=reshape(Matrix,nsize*nsize,1);
    ArrayTHL=ArrayTHL+ArrayTHLtmp;
end
ArrayTHLimage=ArrayTHL;

figure(ncase);
subplot(1,1,1);
CleanImage=reshape(ArrayTHLimage,nsize,nsize);
maxHistogram=max(max(CleanImage));
minHistogram=min(min(CleanImage));
imagesc(CleanImage,[prctile(reshape(CleanImage,nsize*nsize,1),0.1) prctile(reshape(CleanImage,nsize*nsize,1),99.9)]);
axis image;
titleIm=['Radiació de fons SATRAM 19']%['Image at threshold=' num2str(x(ith),'%03d') ];
title(titleIm);
```

Il·lustració 26: Script per realitzar una imatge, part 2. Imatge pròpia.

¹⁷ S'ha utilitzat la paraula *script* que la seva traducció és guió però no significa el mateix en el context en el qual s'utilitza aquesta.

En aquesta il·lustració es pot veure la segona part en la qual es defineix la imatge que es realitzarà. Al principi es pot veure com defineix un últim nom, *numdigits*, que fa referència als números que s'han d'afegir al nom del primer fitxer començant per 01 i així successivament.

La primera part és la que llegeix i ajunta tots els fitxers en un de sol. El que fa és carregar tots els documents un darrere l'altre i ajuntar les 20 matrius que hi ha en una de sola per llavors convertir-la en una imatge. De fer això se n'encarrega la segona part de la imatge la qual converteix la matriu que s'ha realitzat anteriorment en una imatge de radiació. També es veu com es defineix el títol de la imatge el qual es pot escollir.

```
%plot figure (raw image)
figure(ncase);
    CleanImage=reshape(ArrayTHLImage, nsize, nsize);
    maxHistogram=max(max(CleanImage));
    minHistogram=min(min(CleanImage));
    imagesc(CleanImage, [prctile(reshape(CleanImage, nsize*nsize, 1), 0.1) prctile(reshape(CleanImage, nsize*nsize, 1), 99.9)]);
    axis image;
    titleIm=['Radiació de fons SATRAM 19']%['Image at threshold=' num2str(x(ith), '%03d') ];
    title(titleIm);
```

Il·lustració 27: Script per realitzar una imatge, part 3. Imatge pròpia.

Aquesta és l'última imatge del primer *script* que s'ha realitzat. És la part que s'encarrega de plotejar la imatge. Això significa imprimir-la, és la part que fa que es pugui veure la imatge. Al final es pot veure com es torna a definir el títol de la imatge que es vol obtenir.

6.2.2. Sumar els píxels que estan ocupats

```
path = 'C:\Users\gilri\OneDrive\Escriptori\Treball de recerca\Dades minipix\.txt\Radiació SATRAM\Radiació 11\';
name = '10.txt';
nsize=256;

Matrix=zeros(nsize,nsize);
Matrix=load([path name], '-ascii');
[filas, columnas]=size(Matrix);

ocupats=0;
for i=1:filas
    for j=1:columnas
        if Matrix(i,j) != 0
            ocupats=ocupats+1;
        end
    end
end
disp(ocupats);
```

Il·lustració 28: Guió per sumar els píxels d'una matriu. Imatge pròpia.

En aquesta imatge es pot veure el segon *script* que s'ha realitzat el qual s'ha utilitzat per sumar tots els píxels que han interactuat amb alguna partícula. Al principi es defineixen els noms que s'utilitzaran al llarg del guió:

- **path:** Correspon a la ubicació del fitxer que s'ha d'analitzar
- **name:** Defineix el nom del fitxer i també el format d'aquest.

- **nsize:** Defineix la mida de la matriu que s'utilitza.

Seguidament es pot observar com carrega la matriu del fitxer que s'ha seleccionat i ja seguidament es contenen les partícules. Es defineix que ocupats és 0, ja que al principi no se sap quants espais hi ha ocupats. Seguidament es defineix que cada vegada que es trobi un número que sigui diferent de 0 a la matriu, es sumi 1 a ocupats. Així quan s'hagi analitzat tota la matriu s'obtidran el total de píxels que han estat ocupats.

Finalment, l'última fila és la que s'utilitza per imprimir el nombre de píxels que hi ha ocupats amb el nom disp¹⁸.

6.2.3. Sumar la matriu per obtenir l'energia total

```
fpath0='C:\Users\gilri\OneDrive\Escriptori\Treball de recerca\Dades minipix\.txt\Radiació 1\';
fnameinlImage=',00';
fext='.txt';
nframesimage=20;
numdigits='2';

nsize=256;

Matrix=zeros(nsize,nsize);
Total=zeros(nsize,nsize);
```

Il·lustració 29: Guió per sumar l'energia total de la mostra, part 1. Imatge pròpia.

En aquesta imatge es pot veure el tercer i últim *script* que s'ha realitzat. Es poden veure tots els noms que s'han definit en el primer *script*, ja que el primer pas d'aquest últim és totalment igual a la primera part del primer guió. Finalment defineix la matriu de 256x256 píxels.

```
nframesimage=20;
for irep=1:nframesimage
    fnin=[fnameinlImage num2str(irep-1,['%0' numdigits 'd']) fext];
    disp(fnin);
    Matrix=load([fpath0 fnin],'-ascii');
    Total=Total+Matrix;
end

[filas,columnas]=size(Total);
energia=0;
    for i=1:filas
        for j=1:columnas
            if Total(i,j) != 0
                energia=energia+Total(i,j);
            end
        end
    end
disp(energia);
```

Il·lustració 30: Guió per sumar l'energia total de la mostra, part 2. Imatge pròpia.

¹⁸ Disp és per definir que el que s'ha escrit s'imprimeixi en forma d'imatge.

Aquesta és l'última imatge del tercer guió. El primer bucle és el que s'encarrega de llegir i analitzar les 20 matrius i ajuntar-les totes en una de sola. Un cop s'ha realitzat aquest pas, es passa als últims bucles.

Al principi es defineix energia com a 0. Un cop fet això, defineix que cada vegada que es trobi un número diferent a zero a la matriu, el sumi a l'energia. Això provoca que sumi tots els números de la matriu per tal d'obtenir el total d'energia que té la mostra analitzada.

Els dos últims *scripts* són molt semblants. Es diferencien en el fet que el segon, cada vegada que el programa detecta que hi ha un número diferent a 0 es suma 1 al total, ja que es volen saber els píxels que estan ocupats. A diferència de l'últim que quan es troba un píxel diferent a 0 es suma el nombre, ja que es calcula l'energia total de la mostra.

6.3. Dades recollides en Excel

Un cop s'han obtingut totes les dades dels satèl·lits i de la superfície terrestre s'han agrupat en tres Excels diferents. Aquests mostren les diverses variables que s'han marcat abans de començar el marc pràctic de cada mesura que s'ha realitzat.

A continuació es presentaran els dos excels els quals se'ls ha hagut de realitzar alguna modificació per tal d'obtenir uns bons resultats.

6.3.1. Excel radiació de fons Minipix

Taula 2: Excel amb les dades obtingudes a la superfície terrestre. Taula pròpia.

Radiació de fons minipix							
Latitud	Longitud	Altitud	Start_time	Acq_time	Frame_energy	n_pixels	occ_pct
[degrees]	[degrees]	[m]	[dd-mm-yyyy]	[s]	[KeV]	[pixels]	[%]
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	1326	10	0,00015259
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	2187	25	0,00038147
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	4459	49	0,00074768
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	5125	65	0,00099182
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	3347	39	0,00059509
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	7181	92	0,00140381
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	4453	50	0,00076294
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	2214	23	0,00035095
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	2292	24	0,00036621
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	6024	73	0,00111389
→ 42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	22322	75	0,00114441
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	4359	19	0,00028992
42,049	2,2625	508	12/11/2020	20	1849	74	0,00112915

En aquesta taula es poden veure les mesures preses a la superfície terrestre amb el dispositiu. Aquestes es van prendre el dia 12 de novembre de l'any 2020 a la població de Torelló. El temps d'adquisició és de 20 segons.

S'ha decidit extreure la fila marcada amb una fletxa de color vermell. Es pot observar com l'energia de la mostra és de 22.322 KeV, molt més elevada que totes les altres. Per tant s'ha decidit que és un valor que no ha estat ben mesurat i s'ha apartat.

En la següent taula es poden veure les dades obtingudes des del satèl·lit Proba-V. Com es pot observar l'alçada no varia gaire però la latitud i la longitud sí. S'han pres mesures al llarg de la trajectòria del satèl·lit, però s'ha decidit extreure les que el satèl·lit sobrepassava l'anomalia de l'Atlàntic sud. Això és degut al fet que l'afluència de radiació en aquell territori és molt major als altres. Donava uns valors molt i molt elevats i s'ha decidit deixar de banda les dades per tal d'obtenir uns resultats més precisos.

Taula 3: Excel amb les dades obtingudes des del satèl·lit Proba-V (SATRAM). Taula pròpia.

Radiació de fons SATRAM							
Latitud	Longitud	Altitud	Start_time	Acq_time	Frame_energy	n_pixels	occ_pct
[degrees]	[degrees]	[m]	[dd-mm-yyyy]	[s]	[keV]	[pixels]	[%]
81,022	-95,731	811290,5	15/01/2016	20	14904,1	651	0,00993347
75,359	-166,732	811725,5	15/01/2016	20	38525,75	1777	0,02711487
33,164	160,224	818679	15/01/2016	20	41987,42	847	0,01292419
-17,77	148,096	829080	15/01/2016	20	6810,7	302	0,00460815
-52,987	-25,088	832481,5	15/01/2016	20	1249199,72	14727	0,22471619
9,95	-42,762	823135	15/01/2016	20	302217,42	5871	0,08958435
81,345	-138,444	811378,5	15/01/2016	20	15790,23	693	0,01057434
20,035	131,447	821687	15/01/2016	20	5439,4	290	0,00442505
-9,841	124,629	827776	15/01/2016	20	3668	221	0,00337219
-27,374	120,373	830439,5	15/01/2016	20	19353,91	596	0,00909424
-36,017	117,895	831458,5	15/01/2016	20	317753,41	12372	0,18878174
-58,548	108,238	833168,5	15/01/2016	20	55560,85	2411	0,03678894
-77,476	77,914	833748,5	15/01/2016	20	66518,73	943	0,01438904
-57,292	-48,029	832725	15/01/2016	20	568652,98	15013	0,2290802
7,922	-23,27	824615,5	15/01/2016	20	65739,6	1657	0,02528381
-77,942	-166,557	833514	15/01/2016	20	28176,87	502	0,00765991
-59,178	161,292	832610,5	15/01/2016	20	16402,7	467	0,00712585
-31,514	149,87	830033,5	15/01/2016	20	18409,34	482	0,00735474
56,05	125,204	813746,5	15/01/2016	20	14478,98	619	0,00944519
80,954	63,261	811403,5	15/01/2016	20	15375,02	564	0,00860596
50,84	-35,966	815345	15/01/2016	20	88592,46	4728	0,07214355
36,91	-47,171	818149,5	15/01/2016	20	4851,9	269	0,00410461
12,344	-47,575	823570,5	15/01/2016	20	4525,3	216	0,0032959
41,032	-1,342	313240,5	15/01/2016	20	88774,9	4744	0,0723877

6.4. Imatges radiació de fons

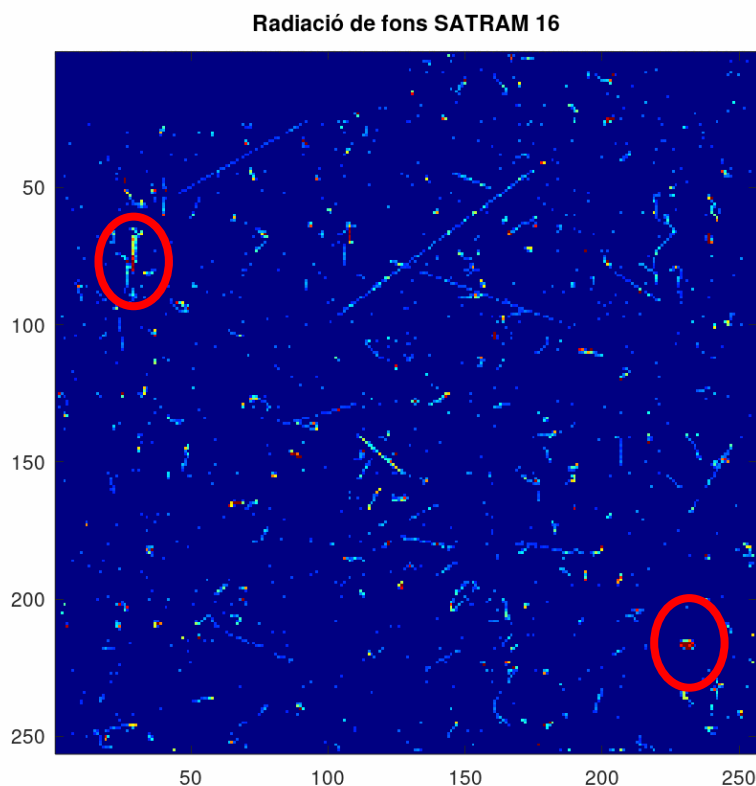
Un cop s'han obtingut totes les dades, utilitzant el programa Octave s'han realitzat diverses imatges de radiació de fons. Aquestes mostren les traces de les diverses partícules

que han impactat amb la placa de silici del detector. El color indica l'energia de la partícula, amb un gradient de blau a vermell des de l'energia més baixa a la més elevada.

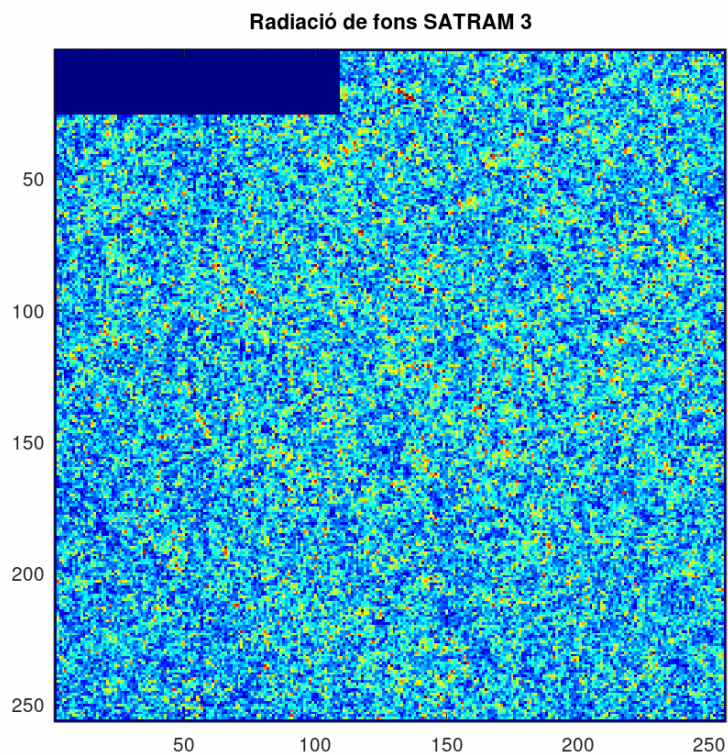
6.4.3. Imatges SATRAM

A continuació es mostraran les imatges més significatives del satèl·lit Proba-V. S'han escollit tres imatges que seran importants a l'hora d'extreure unes bones conclusions. Són tres mesures les quals tenen una energia molt elevada comparada amb totes les altres energies i s'ha hagut d'observar a què és degut.

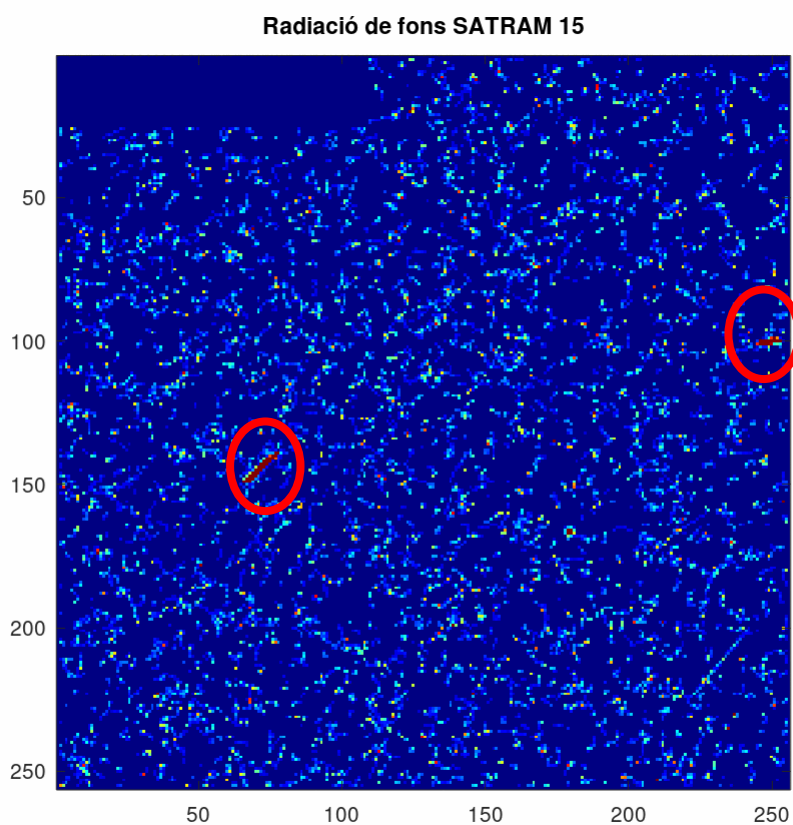
Aquestes tres imatges corresponen a la radiació de fons captada pel satèl·lit Proba-V situat a una alçada d'aproximadament 830 quilòmetres respecte a la superfície terrestre. Com es pot observar, amb un temps d'adquisició de 20 segons s'ha detectat una gran quantitat de radiació còsmica.



Il·lustració 31: Radiació de fons SATRAM, número 16. Imatge pròpia.



Il·lustració 33: Radiació de fons SATRAM, número 3. Imatge pròpia.



Il·lustració 32: Radiació de fons SATRAM, número 15. Imatge pròpia.

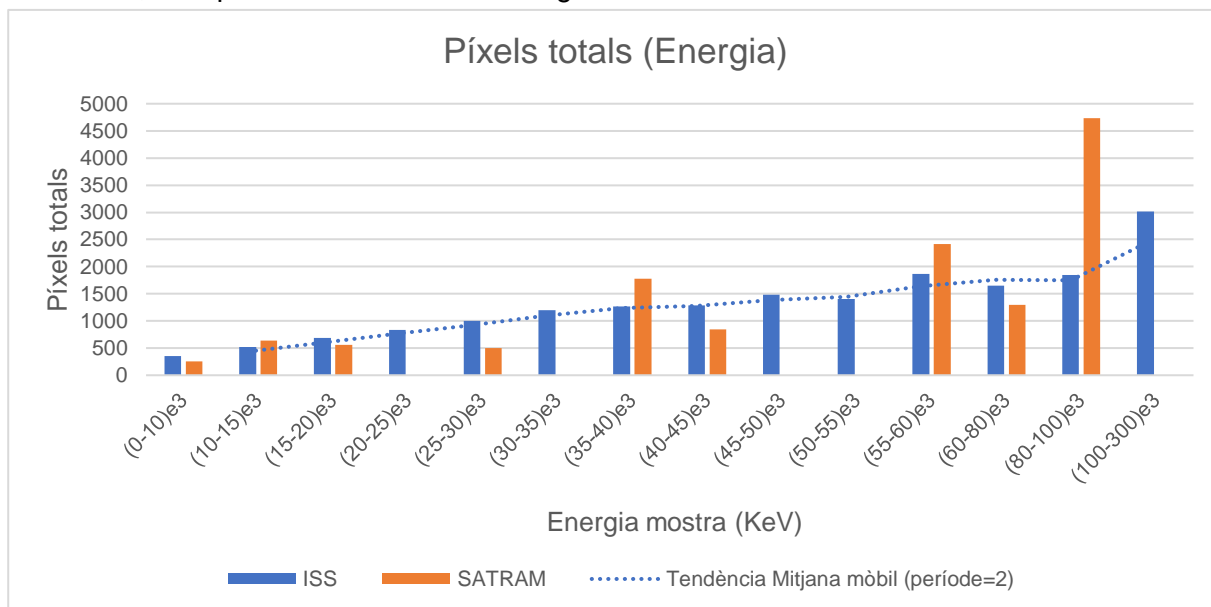
En la primera imatge s'hi poden veure dues partícules significatives. La de la part superior esquerra de la imatge correspon a una partícula beta d'alta energia, partícula la qual té una energia molt elevada. La partícula de la part inferior dreta correspon a una partícula alfa que també té una energia elevada. Aquestes dues partícules són les que provoquen que l'energia per cada píxel sigui molt elevada, ja que a l'haver molta energia en un píxel la mitjana augmenta.

En la segona imatge es pot observar com no hi ha cap partícula molt significativa, però sí que hi ha molts píxels ocupats. Aquests no són de baixa energia sinó que són d'energia mitjana ja que el color que predomina és el groc. Això és el que provoca que la mostra tingui una energia elevada, per sobre de totes les altres.

En la tercera imatge s'hi identifiquen dues partícules significatives. La de la part esquerra de la imatge correspon a una alfa d'alta energia. La de la part dreta de la imatge és una beta d'alta energia. Aquestes dues partícules combinades amb un nombre de píxels ocupats bastant elevat provoca que l'energia de la mostra sigui molt gran.

6.5. Histogrames

Un cop s'han agrupat totes les dades i estudiat tres imatges amb energies molt elevades, s'ha passat a realitzar els histogrames.



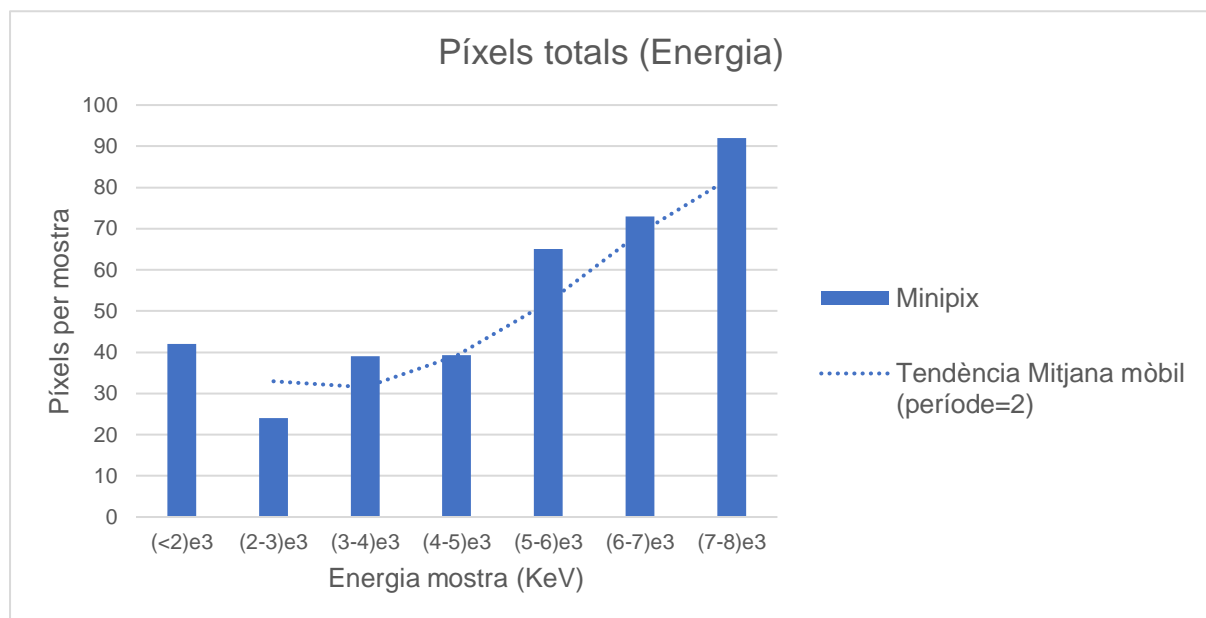
Il·lustració 34: Histograma, píxels totals en funció de l'energia (ISS, SATRAM). Imatge pròpia.

Aquest histograma mostra el nombre total de píxels en funció de l'energia de les dades obtingudes dels satèl·lits.

Les dades de la ISS mostren un augment del nombre de píxels ocupats a mida que s'augmenta l'energia. La tendència seguida per aquestes dades és clarament creixent com

es pot veure en la línia de color blau això indica que com més energia té la mostra, més píxels hi ha ocupats en aquesta. La mitjana de píxels ocupats per mostra és de 15.568.

En les dades del SATRAM també es pot observar com la tendència és d'augment. A falta de dades no s'ha pogut realitzar una tendència mitjana mòbil amb aquestes dades. Hi ha tres pics que fan referència als intervals de $(35-40)e3$, $(55-60)e3$ i $(80-100)e3$ els quals sobresurten. Això és degut al fet que les mostres que fan referència a aquests intervals tenien una alta ocupació de píxels tot i no tenir una energia molt elevada. La mitjana de píxels ocupats per mostra és de 7.096.

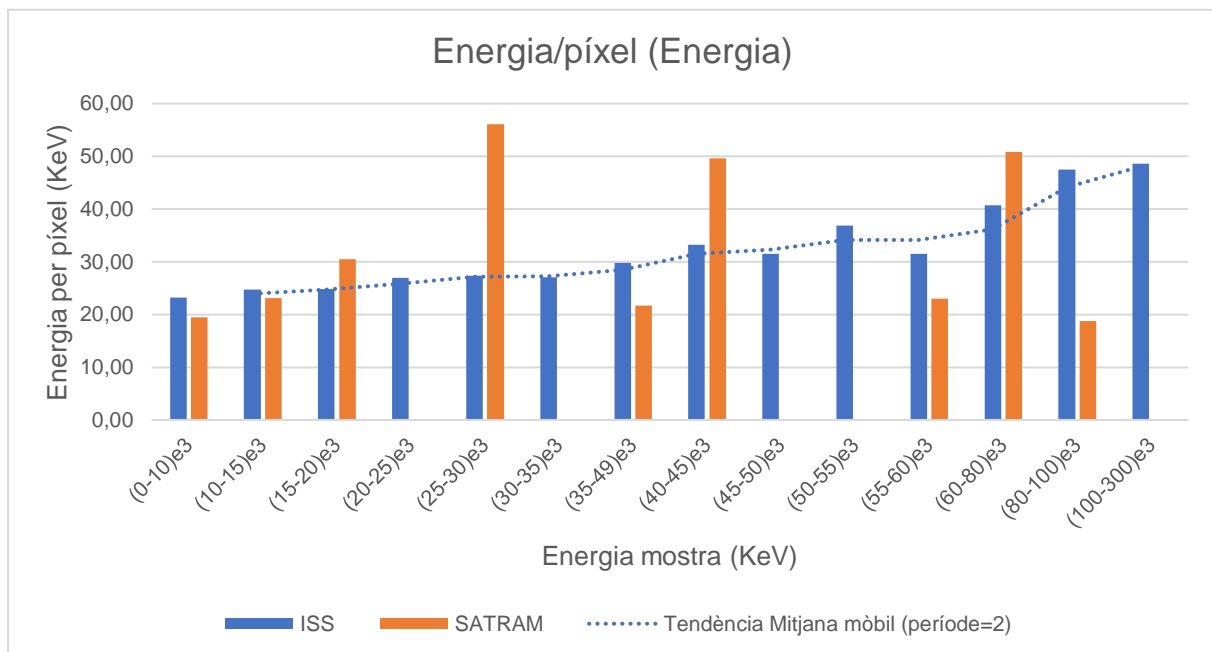


Il·lustració 35: Histograma, píxels totals en funció de l'energia (Minipix). Imatge pròpia.

En aquest histograma s'hi representen el nombre total de píxels en funció de l'energia en les dades obtingudes amb el dispositiu Minipix.

Les dades reflecteixen la poca aflluència de radiació que s'ha detectat a la superfície terrestre. Es pot observar com no s'arriba a una ocupació de 100 píxels, demostrant que realment hi ha molt poca radiació. La mitjana de píxels ocupats per cada mostra és de 78, molt menor a la de les dades del SATRAM i de la ISS.

Tot i això, la tendència mitjana mòbil de la gràfica segueix sent creixent a mida que s'augmenta l'energia de la mostra igual que amb les altres dades. Cosa que demostra que tot i arribar moltes menys partícules, la tendència segueix sent la mateixa.



Il·lustració 36: Histograma, energia per cada píxel en funció de l'energia (ISS, SATRAM). Imatge pròpia.

En aquest histograma es pot veure l'energia de cada píxel en funció de l'energia total de la mostra de la ISS i del SATRAM.

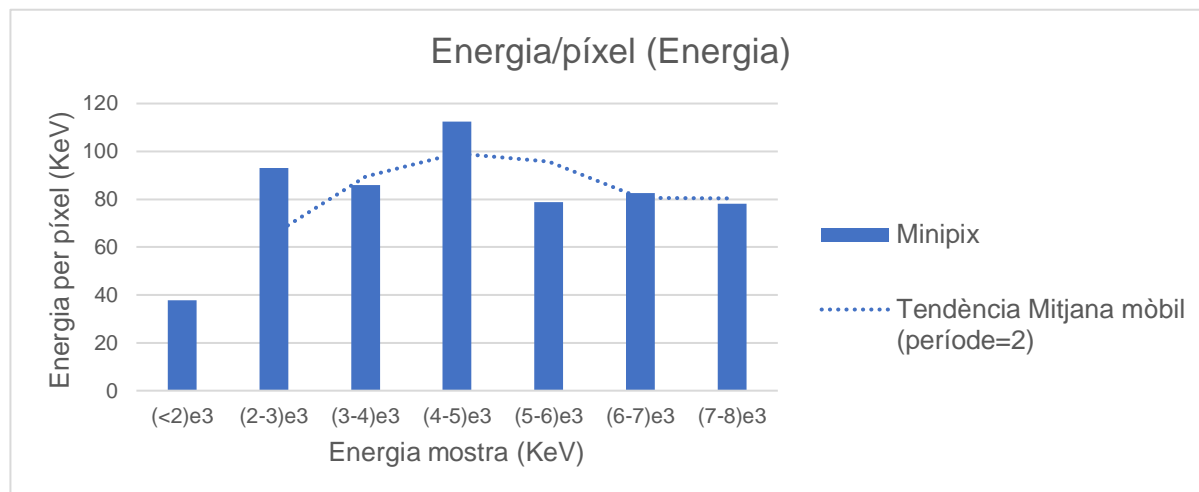
Fent referència a les dades de la ISS es pot observar com no varia molt el valor de l'energia per cada píxel. Això significa que sempre que s'augmenten el nombre de píxels ocupats en una mostra, l'energia augmenta de forma equitativa. La mitjana d'energia per píxel en les mostres preses per la ISS és de 32,41 KeV, això significa que de mitjana cada píxel que està ocupat té aquesta energia.

Referent a les dades de la ISS es pot observar una línia de tendència mitjana mòbil de període 2. Això significa que realitza la mitjana dels dos valors anteriors a un punt donant així la línia que es pot observar. Aquesta segueix una tendència més o menys recta donant lloc a uns valors semblants entre totes les energies com bé s'ha comentat anteriorment.

Fent referència a les dades del SATRAM s'observa que hi ha tres valors que sobresurten molt respecte dels altres. Aquests fan referència a les tres mostres que s'han comentat en l'apartat 7.4.3. Imatges SATRAM. Com bé s'ha comentat, les tres mostres són molt més energètiques que les altres a causa d'algunes partícules molt energètiques significatives que provoquen que la mitjana augmenti. Es pot observar que deixant de banda aquests valors, els altres segueixen una tendència semblant a la de la ISS, quan s'augmenta

el nombre de píxels ocupats, l'energia per cada píxel augmenta equitativament. La mitjana d'energia per píxel en les mostres preses pel SATRAM és de 34,39 KeV.

Es poden veure alguns intervals sense dades en la radiació del SATRAM això és degut al fet que no hi ha hagut mostres amb aquestes energies. A causa d'aquesta manca de dades, no s'ha pogut realitzar la línia de tendència del gràfic. Tot i això, i deixant de banda les tres mostres d'elevada energia, es pot observar una tendència més o menys plana situada a un nivell semblant a la de la ISS. Això determina que les mostres tenen una energia per píxel semblant.



Il·lustració 37: Histograma, energia per cada píxel en funció de l'energia (Minipix). Imatge pròpia.

En l'histograma anterior es pot veure l'energia de cada píxel en funció de l'energia de les dades obtingudes amb el dispositiu Minipix a la superfície terrestre.

Es pot veure com l'energia per píxel es manté més o menys constant. Això significa que quan s'augmenten el nombre de píxels ocupats de la mostra l'energia augmenta de forma equitativa. La línia blava defineix la tendència mitjana mòbil realitzada fent la mitjana entre una barra de valors i la més propera a aquesta. La tendència és bastant plana.

Referent a l'energia per cada píxel s'observa que la diferència és notable. En les dades de la ISS i del SATRAM l'energia màxima per píxel no arriba als 60 KeV i en canvi en les del Minipix la majoria superen aquest valor. Això significa que cada píxel que hi ha ocupat en aquestes mostres és molt més energètic que en les altres. A què és degut?

Taula 4: Mitjana de píxels ocupats i de l'energia total de les mostres. Taula pròpia.

	Mitjana de píxels ocupats	Mitjana de l'energia total
Dades ISS	15.568	483.549
Dades SATRAM	7.096	305.170
Dades Minipix	78	6.402

Si ens fixem en aquesta taula, es pot veure com la mitjana de píxels ocupats és major a més alçada igual que l'energia total de la mostra.

En les dades dels satèl·lits es pot veure com la mitjana de píxels de la ISS és més del doble que la del SATRAM i en canvi amb l'energia no hi ha tanta diferència. Tot i això amb el primer histograma s'ha pogut observar com l'energia per píxel no varia molt a causa de les tres mostres analitzades les quals tenen alguna partícula molt energètica provocant que l'energia total de la mostra augmenti considerablement.

En canvi si es miren les dades del Minipix es pot veure una diferència notable amb les dels satèl·lits. L'ocupació és gairebé 90 vegades més petita que la del SATRAM i 190 que la de la ISS. Això demostra les poques partícules radioactives que arriben a la superfície terrestre. Tot i això, l'energia només és 47 vegades menor que la del SATRAM i 75 que la de la ISS, cosa que significa que no arriben moltes partícules a la superfície terrestre, però que les que arriben ho fan amb una energia molt elevada.

El que s'ha analitzat utilitzant la taula 4 juntament amb els quatre histogrames es pot relacionar amb el que s'ha explicat de la interacció de la radiació còsmica amb l'atmosfera en l'apartat 5.4. Radiació a l'atmosfera.

7. CONCLUSIONS

Els objectius plantejats a l'inici del treball s'han assolit notablement. En primer lloc es va realitzar una bona recerca d'informació per tal de conèixer la història tant de la radiació còsmica com dels detectors de partícules i per estudiar les diverses capes de l'atmosfera. Seguidament es va indagar en el funcionament dels detectors de partícules concretament en el dispositiu Minipix.

En la part pràctica, on hi ha els objectius més importants del treball, no tots els objectius han estat assolits del tot. El primer i més important i que engloba a tots els altres s'ha assolit, s'ha realitzat un estudi per tal de determinar si hi ha interacció entre la radiació còsmica i l'atmosfera. Per tal de realitzar l'estudi es van plantejar uns objectius secundaris els quals no han estat assolits del tot. Ja de bon inici no va ser possible aconseguir dades de quatre satèl·lits a diverses alçades sinó que només se'n van trobar dos, cosa que ha afectat la part pràctica del treball.

Pel que fa als altres objectius s'han complert a la perfecció. S'ha utilitzat el dispositiu Minipix i s'han obtingut dades de radiació a la superfície terrestre juntament amb el programa PIXet Pro. També s'ha pogut realitzar un buidat de totes les dades obtingudes a través de tres guions diferents del programa Octave i finalment ha estat possible realitzar els diversos histogrames per tal d'extreure unes bones conclusions. Tot i que si s'haguessin obtingut dades de més satèl·lits haurien estat encara més completes.

S'han analitzat dades del satèl·lit Proba-V a 820 quilòmetres d'alçada, de la ISS a 400 quilòmetres d'alçada i a la superfície terrestre a 500 metres d'alçada. Aquestes tres alçades corresponen a tres capes diferents de l'atmosfera: l'exosfera, la termosfera i la troposfera respectivament. Les capes analitzades tenen una composició de gasos diferents, una densitat diferent i una temperatura diferent.

Quan un raig còsmic d'alta energia incideix a l'atmosfera terrestre aquest interacciona amb partícules atmosfèriques generant una cascada de raigs còsmics. Això provoca que l'energia de la partícula incident es divideixi en subpartícules molt menys energètiques que acaben desintegrant-se i convertint-se en un raig gamma.

La capa més densa és la troposfera la qual està composta per més del 80% de la massa de l'atmosfera. En aquesta capa hi ha una densitat de partícules molt elevada i és on hi ha més interaccions de radiació còsmica amb partícules atmosfèriques generant un elevat nombre de cascades de raigs còsmics. Contràriament, la termosfera i l'exosfera són capes amb una densitat molt baixa i per tant un raig còsmic incident té una probabilitat molt baixa

de col·lapsar amb una partícula atmosfèrica. En aquestes capes gairebé no es generen cascades de raigs còsmics. Aquest fet s'ha vist reflectit en l'estudi realitzat.

Comparant les dades dels satèl·lits amb les de la superfície terrestre s'ha observat com el nivell de radiació de la superfície és molt menor que en els satèl·lits. L'ocupació ha estat entre 90 i 190 vegades menor que la dels satèl·lits i l'energia detectada, entre 47 i 75 vegades menor. Això significa que els nivells de radiació detectats a la superfície terrestre hagin estat molt baixos.

Les partícules detectades a la superfície terrestre corresponen a les més energètiques de totes. Una cascada de radiació còsmica genera partícules d'una energia molt semblant a la incident i partícules amb una energia menor les quals acabaran desintegrant-se en un raig gamma. Les partícules amb l'energia elevada les quals no han col·lapsat més amb l'atmosfera són les que s'han detectat pel dispositiu, molt poques però amb una energia elevada.

Comparant les dades dels satèl·lits entre elles s'observa com en el SATRAM hi ha una ocupació menor a la de la ISS igual que amb l'energia. Això significa que en la ISS situada a 400 km d'alçada s'han detectat nivells de radiació més elevats que en el Proba-V, situat a 820 km.

Les partícules incidents gairebé no travessen partícules atmosfèriques abans d'interaccionar amb el satèl·lit Proba-V i això provoca que no es detectin molts píxels ocupats, però que els que ho estan tinguin una elevada energia, ja que les partícules no hauran interaccionat amb cap altra. En canvi quan arriben al dispositiu col·locat a la ISS han recorregut gairebé 600 quilòmetres d'atmosfera cosa que augmenta la probabilitat d'interacció d'aquests amb alguna partícula atmosfèrica generant cascades de radiació còsmica. Aquestes generen subpartícules amb una energia més baixa i partícules amb una energia gairebé igual a la incident. Totes aquestes partícules generades a causa de la col·lisió són les que s'han detectat a la ISS. Degut a les cascades que s'han generat, hi ha més partícules radioactives i aquestes han estat les que s'han detectat amb el dispositiu col·locat a la ISS.

Amb tot això, s'ha arribat a la conclusió que la radiació còsmica interacciona amb l'atmosfera, però no segueix un patró establert. Tot recau en la interacció de les partícules radioactives amb alguna de les partícules atmosfèriques. La densitat de l'atmosfera es redueix a mesura que s'augmenta l'alçada i per tant cada vegada es redueix més la possibilitat que es generin cascades de raigs còsmics. S'ha observat com l'energia a una alçada menor és més elevada degut a que hi ha més partícules radioactives i finalment com a la superfície, les de baixa energia ja no arriben i només ho fan les d'energies elevades donant lloc a nivells de radiació molt baixos.

La hipòtesi del treball ha estat rebutjada. L'atmosfera sí que interacciona amb la radiació còsmica, però no de la forma amb la qual es creia que ho feia. Un cop analitzats els resultats s'ha pogut veure com l'atmosfera no absorbeix la radiació sinó que el que provoca és que aquesta es dispersi en partícules d'energies més baixes que acaben desintegrant-se en rajos gamma els quals no arriben a topar amb la superfície terrestre provocant que els nivells de radiació siguin notablement més baixos. Degut a la falta de dades de satèl·lits a alçades menors i d'un avió, no s'ha pogut determinar en quin moment la radiació disminueix, però es creu que a l'alçada de 10 quilòmetres on volen els avions els nivells de radiació ja serien més baixos que a la ISS, situada a 400 quilòmetres. El que sí que es pot dir és que degut a la interacció amb l'atmosfera, la radiació còsmica que arriba a la superfície terrestre és molt menor que la que hi ha a l'espai exterior.

8. LIMITACIÓ I PROSPECTIVA

En aquest apartat del treball es tractaran els diversos entrebancs que hi ha hagut a l'hora de realitzar-lo com també una proposta de millora d'aquest.

A l'hora de realitzar el marc teòric no hi va haver limitacions, ja que la informació va ser extreta de pàgines web juntament amb articles científics i algun vídeo divulgatiu. Però les limitacions van arribar a l'hora de realitzar la part pràctica del treball.

Primer de tot les dades. No va ser possible aconseguir totes les dades que es necessitaven pel treball. Al només haver-hi dades de radiació del SATRAM a internet, es va haver de recórrer al contacte d'en Rafael Ballabriga, professor a la Universitat de Suïssa i investigador del CERN per tal d'aconseguir dades de radiació obtingudes per satèl·lits. Tot i això, només va ser possible accedir a les dades de la ISS a causa de l'alta privacitat de les dades obtingudes per satèl·lits. Això ha estat una clara limitació a l'hora de fer el treball, ja que només s'han pogut comparar tres dades diferents quan l'objectiu era comparar-ne entre quatre i cinc.

Una altra limitació que hi va haver durant l'estudi va ser el poc temps que es va disposar del dispositiu Minipix. Al ser un dispositiu propietat del projecte ADMIRA, només s'ha pogut tenir per tal de realitzar mesures una setmana. Això ha provocat que les possibilitats de realitzar mesures a alçades diverses o en dies amb una meteorologia diferent es veiessin molt reduïdes.

Tot i que les limitacions han estat presents durant el treball, s'ha pogut tirar endavant i s'ha aconseguit un bon resultat. Ara bé, sempre es pot millorar per tal d'obtenir uns resultats més precisos. Primer de tot i el més important per millorar el treball és l'obtenció de més dades d'un satèl·lit a una alçada d'entre 30 i 100 quilòmetres d'alçada i també dades obtingudes des d'un avió a una alçada aproximada de 10 quilòmetres. Amb aquestes dades es podria veure com interaccionen tant la mesosfera com la part superior de la troposfera amb la radiació còsmica.

Una altra prospectiva interessant per millorar el treball també seria, un cop analitzades totes les dades, realitzar alguna simulació la qual mostrés la interacció d'una partícula de radiació còsmica amb les diverses capes de l'atmosfera. Per això s'hauria de tenir en compte la densitat de cada capa, la probabilitat del col·lapse amb una partícula i també les diverses partícules generades per una cascada de raigs còsmics. Aquesta simulació ajudaria a veure el comportament que té l'atmosfera terrestre amb la radiació còsmica i també es veuria la causa per la qual la radiació còsmica a la superfície terrestre és gairebé nul·la.

ÍNDEX D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1: Henry Bequel (1852-1908) https://es.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel	12
Il·lustració 2: Viatge de Hess https://www.abc.es/ciencia/abci-rayos-cosmicos-misterio-dura-201207310000_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F	12
Il·lustració 3: Eclipsi solar https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/meteorologia-y-eclipses-de-sol.html	13
Il·lustració 4: Victor Hess abans d'enlairar amb el globus https://blocs.mesvilaweb.cat/qboschb/?p=220347	13
Il·lustració 5: Esquema dels diferents tipus de radiació electromagnètica existents al planeta i les seves característiques https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/2radiaciones_ionizantes_y_no_ionizantes.html	13
Il·lustració 6: Desintegració alfa https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_alfa	14
Il·lustració 7: Desintegració beta https://ca.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta	15
Il·lustració 8: Desintegració gamma https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%C3%ADa-matem%C3%A1ticas/ciencia/definition-of-gamma-radiation-604476/ ..	15
Il·lustració 9: Diferència de trajectòria a través de l'espai entre un raig còsmic i un fotó https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html	17
Il·lustració 10: SN 1994D (punt brillant que es veu a la part inferior de la imatge) https://en.wikipedia.org/wiki/SN_1994D	18
Il·lustració 11: Abundància de gasos en % a l'atmosfera https://ca.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_terrestre	19
Il·lustració 12: Atmosfera terrestre vista des de l'espai https://conceptdefinicion.de/atmosfera/	21
Il·lustració 13: Capes principals de l'atmosfera terrestre https://es.wikipedia.org/wiki/Atm%C3%B3sfera	23
Il·lustració 14: Magnetosfera terrestre i vents solars http://www01.nmdb.eu/public_outreach/es/03/	24
Il·lustració 15: Diferents interaccions dels raigs còsmics amb la magnetosfera respecte la seva energia. http://www01.nmdb.eu/public_outreach/es/03/	25
Il·lustració 16: Mapa d'energies (Universitat de Berna) relacionades amb els raigs còsmics i la magnetosfera. http://www01.nmdb.eu/public_outreach/es/03/	25
Il·lustració 17: Cascada de raigs còsmics a l'atmosfera. http://www01.nmdb.eu/public_outreach/es/03/	26
Il·lustració 18: Big European Bubble Chamber CERN. Càmera de bombolles més famosa https://en.wikipedia.org/wiki/Big_European_Bubble_Chamber	28

Il·lustració 19: Dispositiu Minipix. https://advacam.com/camera/minipix	29
Il·lustració 20: Traça partícula beta. Imatge pròpia.....	30
Il·lustració 21: Traça partícula gamma. Imatge pròpia.....	30
Il·lustració 22: Traça partícula alfa. Imatge pròpia.....	30
Il·lustració 23: Satèl·lit Proba-V https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Proba-V_Un_minisatelite_para_monitorizar_el_crecimiento_de_la_vegatacion_a_escal_a_global . 32	
Il·lustració 24: Estació Espacial Internacional (ISS) https://ca.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3_Espacial_Internacional	33
Il·lustració 25: Script per realitzar una imatge, part 1. Imatge pròpia.....	34
Il·lustració 26: Script per realitzar una imatge, part 2. Imatge pròpia.....	34
Il·lustració 27: Script per realitzar una imatge, part 3. Imatge pròpia.....	35
Il·lustració 28: Guió per sumar els píxels d'una matriu. Imatge pròpia.....	35
Il·lustració 29: Guió per sumar l'energia total de la mostra, part 1. Imatge pròpia.....	36
Il·lustració 30: Guió per sumar l'energia total de la mostra, part 2. Imatge pròpia.....	36
Il·lustració 31: Radiació de fons SATRAM, número 16. Imatge pròpia.....	39
Il·lustració 32: Radiació de fons SATRAM, número 3. Imatge pròpia. ¡Error! Marcador no definido.	
Il·lustració 33: Radiació de fons SATRAM, número 15. Imatge pròpia. ¡Error! Marcador no definido.	
Il·lustració 34: Histograma, píxels totals en funció de l'energia (ISS, SATRAM). Imatge pròpia.	41
Il·lustració 35: Histograma, píxels totals en funció de l'energia (Minipix). Imatge pròpia.	42
Il·lustració 36: Histograma, energia per cada píxel en funció de l'energia (ISS, SATRAM). Imatge pròpia.	43
Il·lustració 37: Histograma, energia per cada píxel en funció de l'energia (Minipix). Imatge pròpia.	44

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Abundància de gasos en l'atmosfera terrestre. Nota. Recuperada de Wikipedia (21 Setembre 2020) https://ca.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_terrestre	20
Taula 2: Excel amb les dades obtingudes a la superfície terrestre. Taula pròpia.....	37
Taula 3: Excel amb les dades obtingudes des del satèl·lit Proba-V (SATRAM). Taula pròpia.	38
Taula 4: Mitjana de píxels ocupats i de l'energia total de les mostres. Taula pròpia.	44

BIBLIOGRAFÍA

- ADVACAM. (21 de Novembre de 2020). Obtenido de <https://advacam.com/camera/minipix>
- Agency, E. S. (20 de Novembre de 2020). Obtenido de https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Proba-V_Un_minisatelite_para_monitorizar_el_crecimiento_de_la_vegatacion_a_escalagl_obal
- Anònim. (29 de Juliol de 2020). Obtenido de http://200.23.188.74/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/108/htm/sec_10.htm
- Ballabriga, R. (18 de Gener de 2020). Introducció als xips Minipix i a la microelectrònica.
- Barcelona, U. d. (21 de març de 2020). *Facultat de Física*. Obtenido de <http://www.ub.edu/fisica/>
- BBC. (12 de Juny de 2020). Obtenido de <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zxtgqhv/revision/8>
- CERN. (30 de Agost de 2020). *Accelerating science*. Obtenido de <https://home.cern/>
- Connor, N. (15 de Juny de 2020). Obtenido de <https://www.radiation-dosimetry.org/what-is-detection-of-alpha-radiation-alpha-particle-detector-definition/>
- Eaton, J. W. (2018). GNU Octave, free your numbers. 1121.
- Eicher, D. J. (2019). Where Do Cosmic Rays Come From? 3.
- Enciclonet. (28 de Juliol de 2020). Obtenido de <http://mcnbiografias.es/app-bio/do/show?key=hess-victor-franz>
- Ferrer, A. (17 de Febrer de 2005). El mundo subnuclear en los años 50-60 (el nacimiento del CERN). Valencia.
- Hollebecke, V. (1975). Relative Abundance of Proton to Helium Nuclei in Solar Cosmic Ray Events.
- Howell, E. (20 de Juny de 2020). Obtenido de <https://www.space.com/32644-cosmic-rays.html>
- Lomenich, M. D. (29 de Juliol de 2020). Obtenido de <https://science.time.com/2013/02/19/solved-how-cosmic-rays-are-made/>

MDPI. (2020). Alpha Particle Detection Using Alpha-Induced Air Radioluminescence: A Review and Future Prospects for Preliminary Radiological Characterisation for Nuclear Facilities Decommissioning. 4.

N. Lazovski, A. F. (19 de Gener de 2020). *ICCUB*. Obtenido de <http://icc.ub.edu/>

NASA. (2019). *Space Radiation*.

NASA. (20 de Juny de 2020). Obtenido de https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html

NASA. (21 de Setembre de 2020). Obtenido de <https://www.nasa.gov/>

Pous, E. G. (17 de Gener de 2020). Radiació ambiental, tipus de partícules, dosimetria.

Wikipedia. (12 de Juny de 2020). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_particle

Wikipedia. (12 de Juny de 2020). Obtenido de <https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation>

Wikipedia. (15 de Juny de 2020). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray

Wikipedia. (28 de Juny de 2020). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth

Wikipedia. (28 de Juny de 2020). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray#:~:text=Cosmic%20rays%20are%20high%20energy,in%201912%20in%20balloon%20experiments.

Wikipedia. (12 de Juliol de 2020). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel

Wikipedia. (21 de Octubre de 2020). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/SN_1994D

Wikipedia. (23 de Novembre de 2020). Obtenido de https://ca.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3_Espacial_Internacional