The background of the cover features a dark night sky filled with a dense field of white, thin lines representing cosmic rays. These lines originate from a bright point at the top left and fan out across the sky. Below the sky, the dark silhouette of a mountain range is visible, with a few small, glowing yellow lights scattered across the lower part of the image, possibly representing distant stars or city lights. The overall composition is vertical and centered.

ELS RAIGS CÒSMICS

CURS 2022-2023

RESUMEN

Este trabajo se basa en la observación e identificación de partículas provenientes del espacio, llamados rayos cósmicos. Los rayos cósmicos fueron descubiertos por Victor Hess y son partículas procedentes del cosmos que, cuando llegan a la tierra, interaccionan con la atmósfera y se producen rayos cósmicos secundarios. El origen de los rayos cósmicos es diverso y poco preciso. Se especula que provienen del Sol, de supernovas y de agujeros negros. Se puede construir un detector de partículas, con materiales de laboratorio simples, que se llama "Cámara de niebla". Este montaje funciona con un gradiente de temperatura (caliente arriba y frío abajo) que produce un estado de sobresaturación del isopropanol que añadimos dentro. La interacción de una partícula hace que este alcohol supersaturado se condense y podamos ver su trazo. En la parte práctica he construido una cámara de niebla partiendo de un modelo hecho por el CERN y lo he modificado hasta que funcione y pueda ver las partículas. He llegado a la conclusión de que sí que es posible detectar partículas desde casa, aunque sea difícil. Después de la observación de las partículas, las he podido identificar y he visto que la mayoría son electrones o muones, aunque no lo puedo comprobar con certeza. He cumplido los objetivos y los resultados han sido exitosos.

ABSTRACT

This work is based on the observation and identification of particles coming from space, called cosmic rays. Cosmic rays were discovered by Victor Hess and are fragments of atoms that, when they reach the earth, they interact with the atmosphere and secondary cosmic rays are produced. The origin of cosmic rays is diverse and imprecise. It is speculated that they come from the sun, from supernovae and from black holes. A particle detector can be built, with simple laboratory materials, which is called "Cloud Chamber". This montage works with a temperature gradient (hot on top and cold on the bottom) which produces a state of supersaturation of the isopropanol that we add inside. The interaction of a particle causes this supersaturated alcohol to condense, and we can see its trace. In the practical part I have built a cloud chamber starting from a model made by CERN and I have modified it until it works, and I can see the particles. I have come to the conclusion that it is possible to detect particles from home, although it is difficult. After observing the particles, I have been able to identify them and I have seen that the majority are electrons or muons, although I cannot verify this with certainty. I reached all the objectives and the results have been successful.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. HIPÒTESI	7
3. OBJECTIUS	8
MARC TEÒRIC	9
4. COM ES VAN DESCOBRIR?	10
4.1 LES OBSERVACIONS DE COULOMB I CROOKES	10
4.2 LA RADIOACTIVITAT	10
4.3 L'EXPERIMENTACIÓ DE THEODOR WULF	11
4.4 ELS EXPERIMENTS DE VICTOR HESS	12
5. QUÈ SÓN?	13
5.1 ARRIBADA A LA TERRA	13
Raigs còsmics "primaris"	13
Raigs còsmics "secundaris"	14
5.2 TIPUS DE RAIGS CÒSMICS A LA SUPERFÍCIE TERRESTRE	15
Protons	15
Neutrons	15
Pions	15
Kaons	15
Muons	16
Neutrinos	16
Raigs gamma	16
Electrons	16
Positrons	16
6. D'ON PROVENEN?	17
6.1 EL SOL	18
Els raigs còsmics del Sol	18
Les aurores boreals	19
6.2 LES SUPERNOVES	20
El naixement d'una estrella	21
La mort d'una estrella massiva i la creació d'una supernova	21
Els raigs còsmics de les supernoves	22
6.3 ELS FORATS NEGRES	24
La mida dels forats negres	24
Els raigs còsmics dels forats negres	25
La partícula "Oh My God"	26
7. MÈTODES DE DETECCIÓ	28
7.1 DETECCIÓ DIRECTA	28
7.1.1 Satèl·lits	28
FERMI	28
PAMELA	29

AMS-02	29
7.1.2 Globus a alta altitud	30
TIGER	30
BESS	31
CREAM	32
7.2 DETECCIÓ INDIRECTA	33
PIERRE AUGER	33
ICECUBE	33
MAGIC	34
8. LA CAMBRA DE BOIRA	35
8.1 CREACIÓ ORIGINAL	35
8.2 QUE ES POT VEURE?	39
METODOLOGIA	41
9. CONSTRUCCIÓ DE LA CAMBRA DE BOIRA	42
9.1 MATERIAL	42
9.2 PROCEDIMENT	44
TREBALL DE CAMP	47
10. MUNTATGE DE LA CAMBRA DE BOIRA	48
10.1 PRIMER MUNTATGE	48
10.2 SEGON MUNTATGE	49
10.3 TERCER MUNTATGE	50
10.4 QUART MUNTATGE	51
10.5 CINQUÈ MUNTATGE	53
10.6 SISÈ MUNTATGE	53
10.7 SETÈ MUNTATGE	54
11. MUNTATGE DEFINITIU	56
11.1 MATERIAL:	56
11.2 PROCEDIMENT:	59
11.3 RECOMANACIONS:	62
12. LES PARTÍCULES OBSERVADES	63
13. CONCLUSIONS	70
14. BIBLIOGRAFIA	72
14. 1 LLISTA DE FIGURES	75

1. INTRODUCCIÓ

El nostre planeta és constantment bombardejat per partícules subatòmiques que provenen de fora la Terra. Aquestes partícules s'anomenen raigs còsmics i provenen principalment del sol, les supernoves i els forats negres. A nosaltres, a la superfície terrestre ens arriben les "restes" d'aquestes partícules, és a dir, ens arriba la interacció per xocs dels raigs còsmics amb les partícules de l'atmosfera terrestre.

El meu treball consisteix en la recerca bibliogràfica sobre els raigs còsmics i la detecció d'aquestes partícules mitjançant una cambra de boira. A la primera part del treball revisem la història, l'origen i els mètodes de detecció dels raigs còsmics. A continuació, a la metodologia, parlem de la construcció de les cambres de boira. Finalment, a l'última part construïm una cambra de boira i identifiquem les partícules detectades.

L'elecció d'aquest treball de recerca prové del meu interès en l'astrofísica. Inicialment, m'hauria agradat fer un treball relacionat amb algun altre tema (també d'astrofísica), però a causa de la complicació en la recerca, he acabat escollint aquest. Tot i que encara no ho tinc clar, en un futur em veig treballant en un laboratori i investigant sobre les estrelles, les supernoves, els forats negres... Fer aquest treball em pot ajudar a decidir si realment vull estudiar i dedicar-me a això.

2. HIPÒTESI

La hipòtesi del meu treball de recerca és:

Es poden detectar raigs còsmics amb material de laboratori senzill i coneixements bàsics des de casa.

3. OBJECTIUS

Els objectius d'aquest treball de recerca són:

- Ampliar els meus coneixements sobre astrofísica.
- Aprendre sobre els raigs còsmics.
- Detectar raigs còsmics des de casa amb material de laboratori senzill.
- Identificar els tipus de partícules que detecti.
- Introduir-me en el món científic i treballar amb el mètode científic.

MARC TEÒRIC

4. COM ES VAN DESCOBRIR?

Els raigs còsmics són mostres directes de matèria de fora el sistema solar que ens arriben a la Terra. Aquests van ser descoberts pel físic australià Victor Hess.

4.1 LES OBSERVACIONS DE COULOMB I CROOKES

L'any 1785, el físic francès Charles Augustin de Coulomb va realitzar 3 informes sobre l'electricitat i el magnetisme. En el tercer article descriu com un electroscopi (instrument que s'utilitza per veure si un cos està elèctricament carregat) es descarrega de manera espontània a causa de l'acció de l'aire. L'any 1879, el físic britànic William Crookes descobreix que la velocitat de descàrrega espontània disminueix a pressions atmosfèriques més baixes.



Figura 4.1: Charles Augustin de Coulomb.



Figura 4.2: William Crookes.

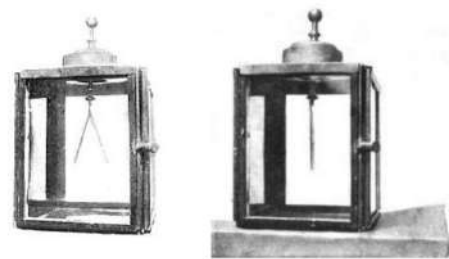


Figura 4.3: Electroscopi

4.2 LA RADIOACTIVITAT

L'any 1896, el físic francès Antoine Henri Becquerel va descobrir la radioactivitat natural, àtoms que es trenquen de manera espontània en el nostre entorn. Dos anys més tard, el 1898, Marie i Pierre Curie van descobrir la radioactivitat del poloni i el radi. Per tant, van descobrir que alguns elements són capaços d'emetre partícules carregades, que al seu torn poden provocar la descàrrega dels electroscopis. Marie Curie, Pierre Curie i Henri Becquerel van compartir el premi Nobel de la física de l'any 1903. D'on prové aquesta radioactivitat? En un inici es creia que provenia del sòl.

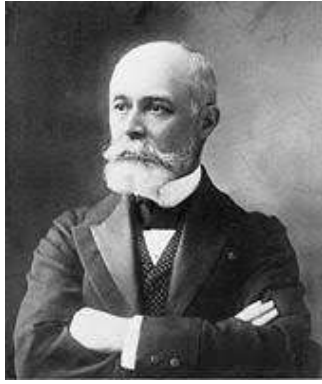


Figura 4.4: Henri Becquerel



Figura 4.5: Marie i Pierre Curie

4.3 L'EXPERIMENTACIÓ DE THEODOR WULF

L'Alemanys Theodor Wulf va néixer el 28 de juliol de 1868 a Hamm. Va obtenir la llicenciatura en física per la universitat de Göttingen i es va encarregar de descobrir quin era l'origen de la misteriosa radiació ionitzant que havien mesurat a l'atmosfera terrestre. Wulf creia que la font de la radiació era el centre de la Terra. Per tal de comprovar la seva hipòtesi, va pujar a la torre més alta de l'època, la Torre Eiffel de París, França, amb 330 metres d'altura. Wulf va calcular que, si la radiació provenia del centre de la Terra, aquesta hauria de disminuir a la meitat a només 80 metres d'altura. Però aquests no van ser els resultats obtinguts. L'any 1910 va mesurar la radiació ionitzant al cim de la Torre Eiffel utilitzant un electroscopi portàtil (instrument que s'utilitza per calcular si un cos està elèctricament carregat) i va trobar que la radiació al cim de la Torre Eiffel era la meitat que la de la superfície terrestre, per tant, que hi havia molta més radiació de la que es pensava.



Figura 4.6: Theodor Wulf



Figura 4.7: Dibuix de la Torre Eiffel

4.4 ELS EXPERIMENTS DE VICTOR HESS

El físic Victor Hess, nascut el 24 juny 1883, acabava d'obtenir el seu doctorat a la Universitat de Graz, quan va decidir posar fi al misteri de l'origen de la radiació que hi havia a l'atmosfera.

L'any 1911 va pujar a una alçada d'uns 1100 metres, amb globus, per calcular el nivell de radiació, però, en els seus 2 primers viatges no va trobar cap diferència essencial de radiació comparada amb la del nivell del terra. L'any següent, el 1912, Hess va dur a terme 7 viatges més a una altura de 5200 metres i va descobrir que, tot i que la radiació disminuïa durant els primers centenars de metres, a més d'un quilòmetre aproximadament, el nivell de radiació augmentava en augmentar l'altitud, és a dir, les molècules perdien electrons i es tornaven conductores de l'electricitat. Per tant, la radiació no podia provenir de la Terra, sinó del cel.

Aleshores, el 17 d'abril de 1912, Hess va fer tornar a fer un ascens a 5.200 metres durant un eclipsi de Sol gairebé total. I mentrestant la lluna es col·locava davant del sol, Hess va veure que no afectava al nivell de radiació que llegien els seus instruments.

Va raonar que, com que l'eclipsi no influïa al nivell de radiació, tot i que una part de la radiació havia de provenir d'origen còsmic, era poc probable que la font de la radiació fos el Sol, sinó que havia de venir de més lluny, de l'espai. Els viatges d'Hess van ser els primers de molts ascensos que van fer els físics per estudiar els raigs còsmics. Gràcies als seus estudis, Victor Hess va obtenir el Premi Nobel de Física l'any 1936.



Figura 4.8: Victor Hess



Figura 4.9: Victor Hess en un globus

5. QUÈ SÓN?

Els raigs còsmics són fragments d'àtoms que plouen sobre la Terra que provenen de fora del sistema solar. S'acosten a una velocitat propera a la de la llum i no tenen cap efecte sobre el nostre cos. Tot i que van ser descoberts fa més d'un segle, encara hi ha moltes característiques que continuen essent un misteri.

5. 1 ARRIBADA A LA TERRA

Raigs còsmics “primaris”

Els raigs còsmics són parats a l'atmosfera, per tant, les partícules que ens arriben a la Terra no són raigs còsmics, sinó la interacció d'aquests raigs amb partícules de la nostra atmosfera. L'única manera d'estudiar els raigs còsmics primaris és des de fora d'atmosfera. Els raigs còsmics “primaris” estan compostos per:

- 90% de nuclis (protons) d'hidrogen.
- 9% de nuclis d'heli i altres nuclis una mica més pesants.
- 1% electrons i positrons (o antielectró).

Per tant, tenen una composició semblant a la de les estrelles i altra matèria interestel·lar, però tenen una proporció més alta d'elements lleugers, com el liti, el beril·li i el bor, que són els 3 elements més lleugers després de l'hidrogen i l'heli (aquests 2 últims formen part de la majoria de materials del cosmos, principalment a les estrelles).

Raigs còsmics “secundaris”

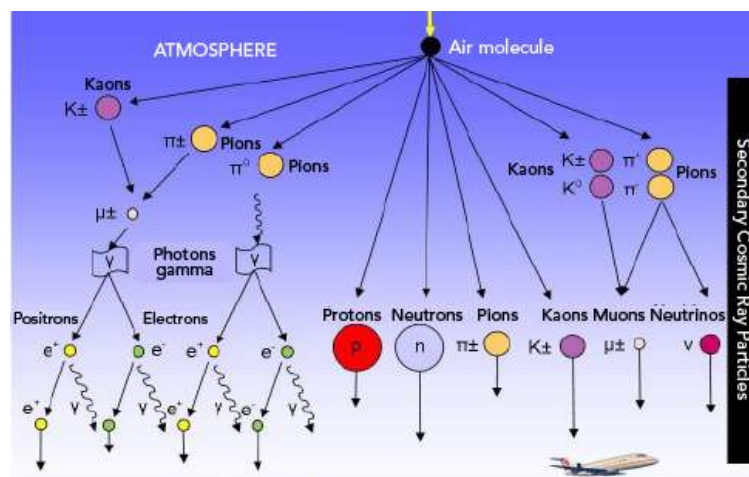


Figura 5.1: Esquema dels raigs còsmics secundaris

Quan els raigs còsmics arriben a l'atmosfera xoquen amb partícules com l'oxigen i el nitrogen. Això fa que raigs es trenquin i formin partícules més petites que segueixen la mateixa direcció. Les partícules de raigs còsmics secundaris són protons, neutrons, pions i kaons. Alguns dels pions i kaons es desintegren en muons i neutrins. Altres pions es desintegren en fotons de raigs gamma, una forma de radiació electromagnètica, que es descompon en positrons i electrons. A aquest procés se l'anomena cascada o dutxa de raigs còsmics.

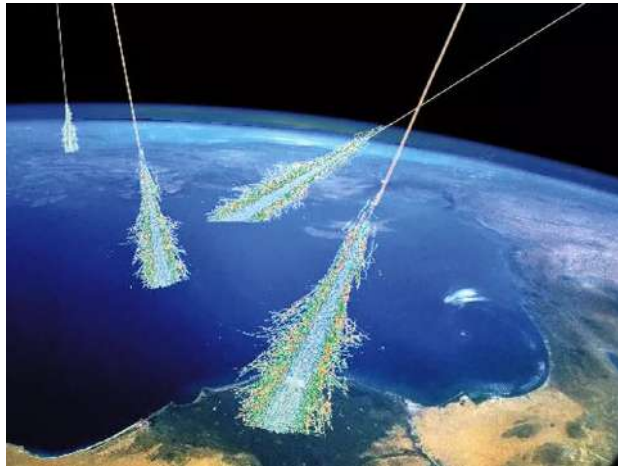


Figura 5.2: Dibuix representatiu de la cascada o dutxa de raigs còsmics

5. 2 TIPUS DE RAIGS CÒSMICS A LA SUPERFÍCIE TERRESTRE

Protons

El protó, format per 3 quarks¹, és un dels components del nucli de l'àtom. Té una massa definida com a 1 i una càrrega de +1. S'indica amb el símbol p o p⁺. El nombre atòmic (Z) d'un element és la quantitat de protons que hi ha en el nucli. Cada element conté un nombre diferent de protons, per exemple, l'Hidrogen en conté 1 i l'Heli 2.

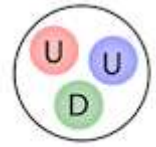


Figura 5.3: Dibuix representatiu d'un protó

Neutrons

El neutró, també format per 3 quarks, és un dels components del nucli de l'àtom. Té una massa molt propera a 1 (és lleugerament superior a la del protó) i no té càrrega elèctrica. S'indica amb el símbol n o n⁰. El nombre de neutrons d'un element sí que pot variar, al contrari que el de protons. El nombre màssic (A) és la suma de protons i neutrons del nucli (també s'anomenen nucleons).



Figura 5.4: Dibuix representatiu d'un neutró

Pions

El pió (simbolitzat amb π) és un tipus de mesó (partícula subatòmica formada per un quark i un antiquark²). Hi ha 3 tipus de pions diferents, el pió positiu (π^+), el pió negatiu (π^-) i el pió neutre (π^0). Els pions són inestables i de vida curta. Els pions carregats tendeixen a desintegrar-se en muons i neutrins, i els pions no carregats en raigs gamma.

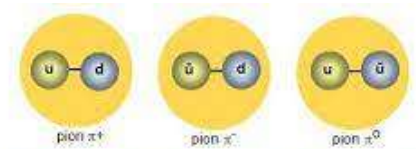


Figura 5.5: Dibujos representatius dels 3 tipus de pions

Kaons

El kaó (simbolitzat amb K) és un tipus de mesó molt inestable. Igual que els pions, existeixen kaons carregats positivament (K⁺), kaons carregats negativament (K⁻) i kaons neutres (K⁰).

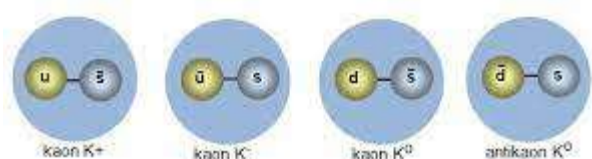


Figura 5.6: Dibujos representatius de kaons

¹ Quark: partícula elemental i component fonamental de la matèria.

² Antiquark: Antipartícula del quark, mateixes característiques excepte la càrrega, que és la contrària.

Muons

El muó (simbolitzat amb μ) és una partícula elemental massiva. Conté una càrrega elèctrica negativa, com l'electró, encara que la seva massa és 200 vegades més gran. És de vida curta. També existeix la seva corresponent antipartícula, l'antimuó (μ^+)

Neutrinos

Els neutrinos (simbolitzat amb ν) són partícules sense càrrega elèctrica de massa molt petita. Són molt difícils de detectar i quasi no interactuen amb altres partícules.

Raigs gamma

Els raigs gamma, simbolitzats amb la lletra γ , són les radiacions electromagnètiques produïdes per la desintegració radioactiva dels nuclis atòmics. La freqüència és molt alta i són dels més perillosos per l'ésser humà.

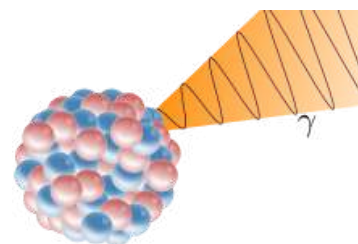


Figura 5.7: Dibuix representatiu dels raigs gamma

Electrons

Un electró és una de les partícules elementals estables. Està carregada negativament, per tant, es simbolitza com a e^- . Els electrons es troben a l'escorça de l'àtom i tenen una massa molt petita, 2000 vegades menor a la del protó.

Positrons

El positró, també anomenat electró positiu o antielectró, en conseqüència, simbolitzat amb (e^+), és l'antipartícula de l'electró, amb la mateixa massa i el mateix valor absolut de càrrega.

6. D'ON PROVENEN?

Hi ha diverses especulacions i models que proposen solucions a l'enigma de l'origen dels raigs còsmics. A causa dels camps magnètics de la Via Làctia, i a què els raigs còsmics estan carregats elèctricament, aquests arriben a l'atmosfera terrestre des de totes direccions, per tant, no es pot distingir d'on provenen els raigs còsmics pel camí que han recorregut, per tant, s'estudia el seu origen amb els elements que els formen.

El fet que els raigs còsmics siguin partícules altament energètiques implica que provenen de fonts d'energia poderoses, per tant, les supernoves i zones al voltant dels forats negres són possibles orígens d'aquests raigs. També és possible que provinguin d'altres galàxies. El Sol també és capaç de produir raigs còsmics. Aquests s'anomenen raigs còsmics solars i, contenen molt poca energia comparats amb els altres, que s'anomenen raigs còsmics galàctics.

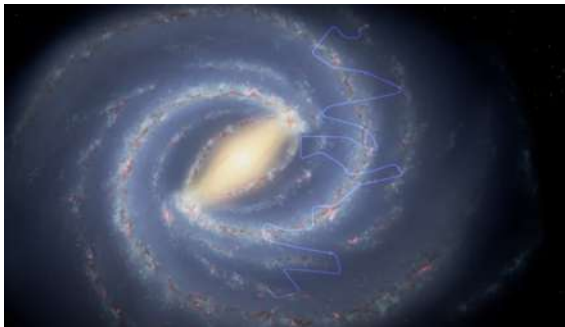


Figura 6.1: Dibuix representatiu d'un raig còsmic en entrar a la Via Làctia

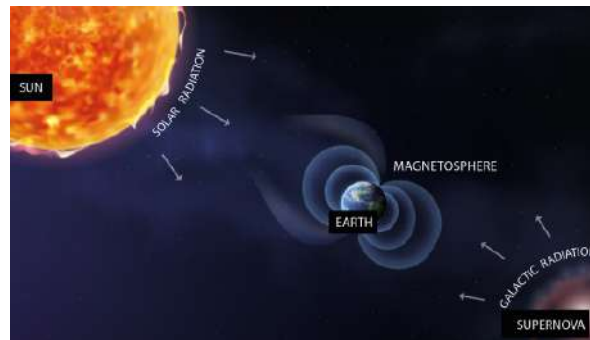


Figura 6.2: Dibuix de la radiació que obtenim del Sol i de la galàxia

6.1 EL SOL

El Sol és una estrella enorme d'1'4 milions de quilòmetres de diàmetre. Les estrelles són els únics cossos de l'univers capaços d'emetre llum, i el Sol és la més propera a la Terra, està situat a 150 milions de quilòmetres. És la font de llum i calor i el centre que manté unit el sistema solar. Genera una força d'atracció gravitatòria als planetes que fa que girin al seu voltant. Comparat amb les estrelles de la resta de l'univers, el Sol és relativament petit, però és molt important per a la Terra. Tot el sistema solar, incloent-hi el Sol, gira al voltant del centre de la Via Làctia, la nostra galàxia. Tarda 225 milions d'anys en fer una volta completa. La superfície del Sol està dividida en tres regions: la fotosfera, la cromosfera i la corona solar.

El Sol està ple de gasos calents que representen més del 99'8% de la massa total del sistema solar. Aquests gasos estan a més de 5500 °C a la superfície i més de 15'5 milions de graus al nucli. L'energia del Sol és generada per reaccions de fusió on l'hidrogen (H) es transforma en Heli (He). El Sol es va formar fa 4600 milions d'anys i viurà uns 5000 milions més. És a dir, ja ha utilitzat més de la meitat de l'hidrogen del seu nucli. Quan s'acabi el combustible del Sol, les capes més externes s'escalfaran i això farà que el sol es dilati, de manera que podrà englobar els planetes més propers, entre ells la Terra. El procés de fusió nuclear que fa que brilli s'apagarà i el Sol s'acabarà convertint en un fòssil molt calent, anomenat, nana blanca.

Els raigs còsmics del Sol

El Sol és una de les fonts de raigs còsmics, però la menys energètica. Aquests raigs còsmics són expulsats del sol quan hi ha erupcions solars. Les erupcions solars són grans erupcions d'energia de diverses formes, com calor, energia electromagnètica i radiació ionitzant. Aquestes erupcions són produïdes quan les taques solars interactuen entre elles. Aquestes taques són camps magnètics molt forts que es troben a la superfície del Sol. Apareixen foscos a la superfície del Sol, perquè són més freds que les zones del seu voltant i impedeixen que part de la calor del Sol arribi a la superfície del Sol. Quan interactuen entre elles provoquen explosions d'energia, també anomenades erupcions solars. La radiació ionitzant alliberada durant les erupcions solars inclou raigs X i raigs gamma. Aquesta radiació pot

danyar els satèl·lits de l'espai, però a nosaltres ens protegeix l'atmosfera terrestre. Des de l'exterior es veuen flaixos de llum que surten del sol.

Els raigs còsmics del Sol són majoritàriament electrons, protons i nuclis l'heli. Algunes d'aquestes partícules són expulsades contínuament del Sol i algunes només en certs successos com les erupcions solars.



Figura 6.3: Imatge d'un camp magnètic solar (taca), amb una temperatura més baixa.

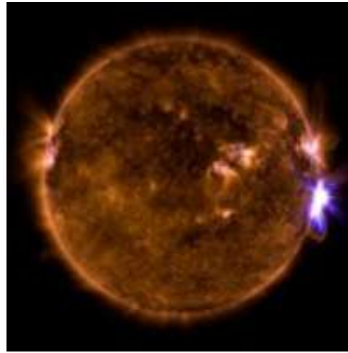


Figura 6.4: Erupció solar



Figura 6.5: Erupció solar

Les aurores boreals

Les erupcions solars més potents són enormes esclats de raigs X i gas calent electrificat anomenats ejeccions de massa coronal. Aquests poden crear tempestes de protons, que contenen suficient energia per a trencar enllaços químics. En ser atrapades pel camp magnètic terrestre i interactuar amb la seva atmosfera provoquen les famoses aurores boreals, que són partícules d'oxigen i de nitrogen que, en lloc d'emmagatzemar l'energia que obtenen dels raigs còsmics, l'alliberen en forma de fotons. Les aurores boreals es poden veure a països que estan situats a llocs propers als pols.



Figura 6.6: Aurora Boreal

6.2 LES SUPERNOVES

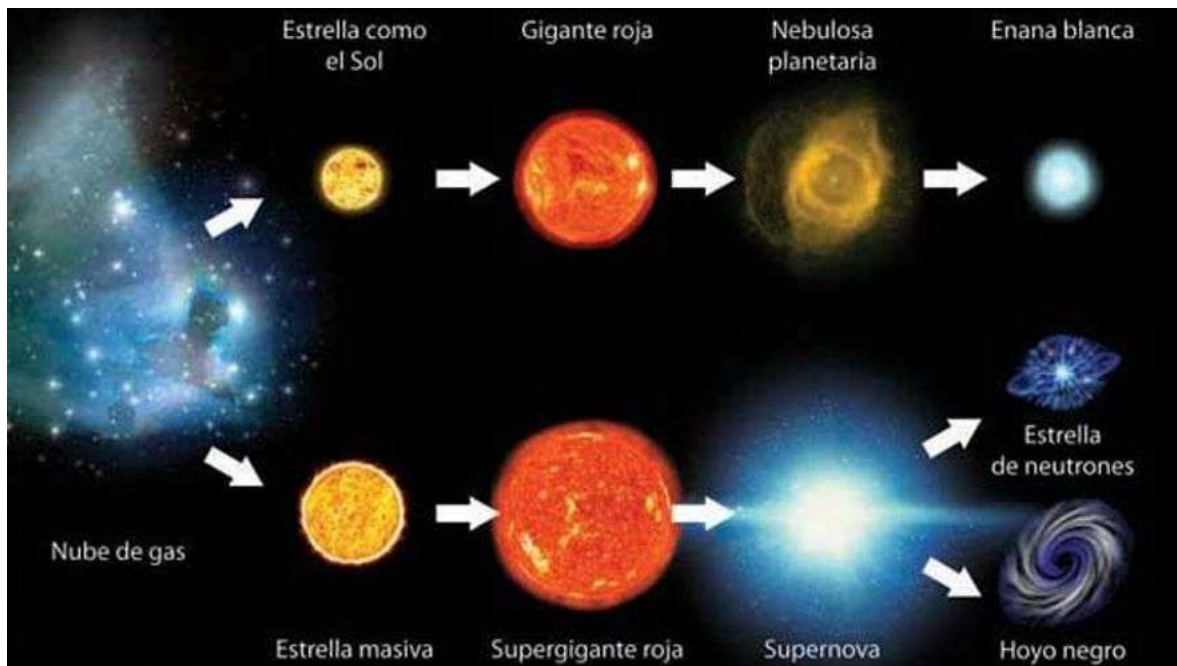


Figura 6.7: Esquema de les diferents etapes de la vida d'una estrella

Les estrelles no viuen eternament. La seva vida i mort ve determinada des del moment del seu naixement. Una estrella com el Sol evolucionarà cap a una gegant vermella i acabarà com a una nana blanca. En canvi, les estrelles més massives acabaran explotant com una supernova.

El naixement d'una estrella

Les estrelles neixen en immensos núvols formats per hidrogen que s'anomenen nebuloses. Per diversos motius, com per exemple, l'explosió d'una supernova o la pertorbació d'una estrella propera, la matèria de la nebulosa es posa en moviment. S'acumula per l'efecte de la gravetat i, lentament, es formen zones més denses, que donaran lloc a una estrella. Com més matèria s'acumula, més augmenta la temperatura de l'estrella. Quan la temperatura arriba a uns 15 milions de graus es comencen a dur a terme reaccions de fusió nuclear, que és el que fa que l'estrella brilli.

La mort d'una estrella massiva i la creació d'una supernova

Durant la vida d'una estrella massiva, la calor que es genera al nucli fa una força cap a fora que viu en equilibri amb la força de la gravetat que empeny cap a dins. Quan s'esgota el combustible nuclear del nucli, les forces deixen d'estar en equilibri i guanya la de la gravetat, de manera que l'exterior de l'estrella cau cap al nucli a gran velocitat, és a dir, es fa petita. Allà dins, la matèria es comprimeix i es compacta fins a formar una estrella de neutrons o un forat negre. Aquestes actuen com a paret contra la qual xoquen i reboten les capes externes de l'estrella i es forma una explosió que anomenem supernova.

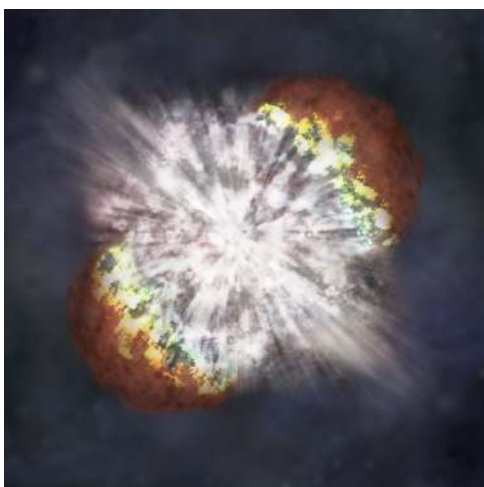


Figura 6.8: Supernova

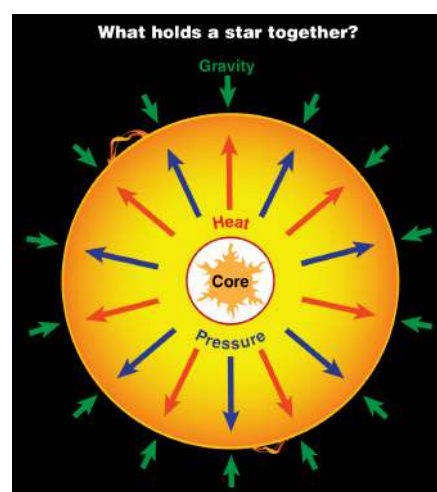


Figura 6.9: Dibuix de les forces que actuen en una estrella

Els raigs còsmics de les supernoves

L'any 1949, el físic Enrico Fermi va suggerir que els raigs còsmics eren partícules accelerades per "núvols magnètics" del cosmos. Quan les supernoves exploten alliberen matèria en totes direccions i això crea una ona en expansió de matèria xocant. Aquesta ona es desplaça a desenes de milers de quilòmetres per segon, però, tot i això, no s'acosta a la velocitat d'un raig còsmic. Aquestes ones poden comprimir i enfortir camps magnètics. Llavors, les partícules carregades energèticament, creades per les supernoves, es van movent d'un costat a l'altre de l'ona i van absorbint energia i es van accelerant, aquest procés s'anomena "acceleració de Fermi". Quan aquestes partícules es mouen a una velocitat molt alta, es poden "escapar" de l'ona creada per la supernova.



Figura 6.10: "Núvol magnètic"

Per provar aquesta teoria es va haver de crear un observatori espacial que va ser anomenat "telescopi espacial Fermi". Aquest telescopi té uns detectors que capten els raigs gamma que serveixen per estudiar fenòmens com els forats negres o les supernoves. En especial, el telescopi Fermi estudia el residu de dues supernoves de la Via Làctia.



Figura 6.11: Telescopi espacial Fermi

Una d'elles s'anomena w44 i està situada a 10.000 anys lluny de la Terra. L'altra s'anomena ic443, popularment coneguda com a "nebulosa medusa", i està situada a uns 5.000 anys llum. Seguint la teoria de Fermi, aquestes dues restes de supernoves són la situació perfecta per crear raigs còsmics de gran energia. Gràcies als detectors de raig gamma del telescopi espacial Fermi, que poden estudiar d'on venen els raigs gamma, van poder veure si la teoria era certa. Després de 4 anys captant informació, van poder confirmar que els raigs gamma provenien del xoc de protons de supernoves.

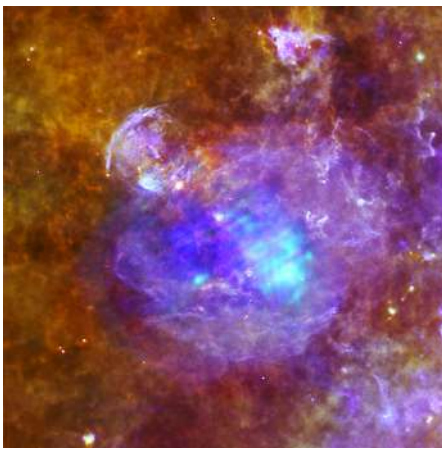


Figura 6.12: Supernova w44



Figura 6.13: Supernova ic443 o "nebulosa medusa"

6.3 ELS FORATS NEGRES

Els forats negres, un dels objectes més misteriosos de l'univers, són un espai on la gravetat actua amb tanta força que res pot escapar, ni la llum. Tal com he explicat a l'apartat anterior, un forat negre es forma per l'explosió d'una estrella, quan tota la matèria és comprimida, per això la gravetat actua tan fort. En els forats negres no s'hi pot aplicar el temps, l'espai ni les lleis de la física.

No els podem veure perquè la llum no pot sortir-ne. Són invisibles per a nosaltres. Amb uns telescopis especials es poden veure els forats negres, ja que les estrelles properes actuen diferent de les altres estrelles. La gravetat és tan forta que fins i tot atrau les estrelles del seu voltant. Gràcies a això els científics poden estudiar els forats negres.

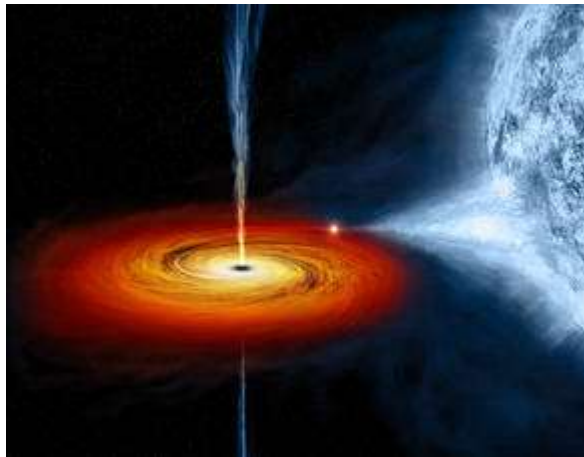


Figura 6.14: Representació de la força d'un forat negre



Figura 6.15: Representació de la força d'un forat negre

La mida dels forats negres

Els forats negres poden ser de diverses mides. Els experts creuen que el forat més petit té la mida d'un àtom però la massa d'una muntanya molt gran. També hi ha altres forats negres que s'anomenen "estel·lars". La massa pot ser 20 vegades més gran que la del sol i el radi pot ser de centenars de quilòmetres. Es creu que hi ha molts forats negres estel·lars a la Via Làctia. Els forats negres més grans s'anomenen "supermassius". La massa d'aquests forats negres és com la d'un milió de Sols junts. Aquests se situen al centre de grans galàxies, la que es situa al mig de la Via Làctia s'anomena "Sagittarius A". La massa és equivalent a la de 4 milions de Sols i la mida és d'unes quantes Terres.

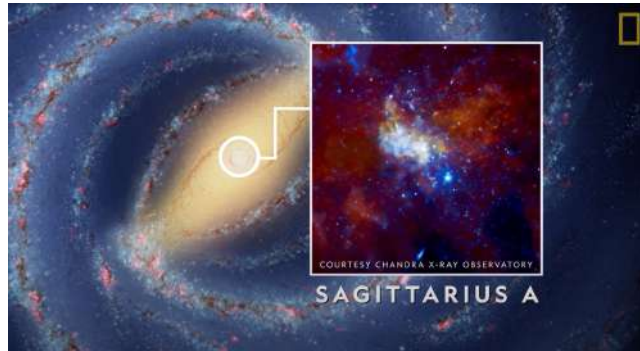


Figura 6.16: Sagittarius A

Els raigs còsmics dels forats negres

Els raigs còsmics de molta energia no poden procedir de les supernoves. Es van realitzar uns estudis amb un sistema d'espectroscopis d'alta energia (High Energy Stereoscopic System, HESS) a Namíbia, Àfrica, per mirar els feixos de llum que creen els raigs còsmics en arribar a l'atmosfera. En estudiar aquestes dades, van poder estimar la direcció dels raigs còsmics i van veure que provenia del centre de la Via Làctia. Aquest lloc coincideix amb la localització d'un forat negre supermassiu. La seva massa és equivalent a la de 4 o 5 milions de Sols. L'equip d'investigació va suggerir que l'enorme força gravitatòria exercida per l'enorme massa del forat negre podria accelerar les partícules a velocitats increïblement altes. Aquest resultat també reforça una teoria actual sobre una font de raigs còsmics més estranya. Aquests raigs còsmics poden haver viatjat des de galàxies llunyanes. Es creu que provenen de nuclis galàctics actius, és a dir, forats negres supermassius. Aquests, consumeixen matèria tan ràpidament que escalfen el gas i la pols que cau fins a temperatures tan altes que ho fa brillar prou per ser vist a tot l'univers. Si el forat negre central de la Via Làctia pot produir raigs còsmics, això reforça el cas que els nuclis galàctics actius són la font de raigs còsmics extragalàctics.



Figura 6.17: Dibuix de les forces d'un forat negre supermassiu



Figura 6.18: Espectroscopis d'alta energia

La partícula “Oh My God”

Aproximadament, una vegada per quilòmetre quadrat a l'any, una partícula extremadament carregada arriba a la Terra. Aquesta partícula xoca amb les partícules d'oxigen i nitrogen de l'atmosfera i forma una cascada de partícules menys carregades, però de molta energia igualment. Aquesta partícula, detectada per primer cop el 1991 a la Universitat d'Utah, la van anomenar “Oh My God” o “OMG”, ja que la seva velocitat era d'un 99,9999999999999999951% la velocitat de la llum. Aquesta velocitat és 10 vegades més que pot aconseguir l'accelerador de partícules més potent de la Terra, l'LHC. Des de la detecció d'aquesta partícula, els experts van continuar observant el cel i en total s'han registrat un centenar de partícules OMG en les últimes dècades. Però, quin objecte de l'univers és capaç de donar aquesta energia a una partícula? La primera idea va ser que provenia d'una supernova. Té un camp magnètic i molta energia, però no suficient. Una supernova no té suficient força per a llençar la partícula a tanta velocitat.

La següent opció és un nucli galàctic actiu, és a dir, un forat negre supermassiu. El de la Via Làctia, la nostra galàxia, s'anomena Sagittarius A, i es troba a 25.640 anys llum. En atraure matèria cap al forat, forma un disc giratori que crea intensos camps magnètics a través de la dinamo. Per tant, un forat negre sí que podria accelerar els protons a aquesta velocitat, però les partícules no serien capaces d'arribar a la Terra

pel fet que el centre de la galàxia es troba massa lluny. Pel camí es trobaria partícules de menys energia que xocarien amb ell i l'alentirien. Durant un temps, la principal sospita de l'origen de les partícules OMG era "centaurus A", un nucli galàctic actiu relativament proper que es troba entre 10 i 16 milions d'anys llum de distància. Tot i que hi ha hagut estudis que indiquen que aquests raigs còsmics provenen d'aquella direcció, mai ha sigut segur, ja que no viatgen en línia recta, i per entrar a la nostra galàxia, la Via Làctia, han hagut de travessar un fort camp magnètic que altera la seva direcció. Per tant, encara no es coneix l'origen de les peculiars partícules OMG.

7. MÈTODES DE DETECCIÓ

Hi ha diversos mètodes per detectar i estudiar els raigs còsmics. Els detectors de raigs còsmics són detectors de partícules. De manera general els podem dividir en 2 blocs: detecció directa i detecció indirecta. La detecció directa es basa en satèl·lits o globus a alta altitud, en canvi, la detecció indirecta està a la superfície terrestre i detecta raigs secundaris o radiació electromagnètica.

7.1 DETECCIÓ DIRECTA

7.1.1 Satèl·lits

Un satèl·lit és un cos artificial llançat a l'espai per a recollir informació. Actualment, hi ha molts satèl·lits per estudiar els raigs còsmics, per això he fet una tria dels 3 més coneguts: Fermi, Pamela i AMS-02.

FERMI

El telescopi espacial Fermi va ser llançat des de Florida l'11 de juny del 2008. El seu objectiu és estudiar els raigs gamma per a poder obtenir informació dels objectes de l'espai amb alta radiació. Els raigs gamma són la radiació en forma de llum més potent que existeix. Rep aquest nom com a homenatge a Enrico Fermi, que va suggerir que els raigs còsmics s'acceleraven a les supernoves. El telescopi Fermi, a part de ser útil amb els estudis dels raigs còsmics, també estudia fenòmens com explosions de raig gamma, forats negres supermassius i les seves galàxies, romanents estel·lars... El Fermi observa la llum amb energies de centenars de milions de vegades majors que els nostres ulls poden detectar. L'energia de la llum que podem veure oscil·la entre 2 i 3 electronvolts. Fermi observa la llum en el rang d'energia entre 8.000 electronvolts (8 keV) i més de 300 mil milions d'electronvolts (300 GeV).

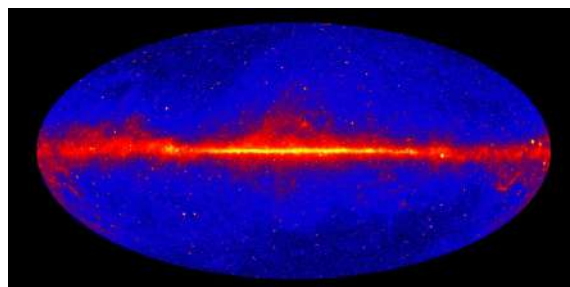


Figura 7.1: El cel captat amb el telescopi Fermi

Aquesta imatge mostra el cel a energies superiors a 1 GeV (1.000.000.000 eV) segons dades recollides amb el telescopi Fermi durant 12 anys. Els colors més clars indiquen fonts de raigs gamma més brillants. El centre del mapa, la zona més brillant, indica el pla central de la nostra galàxia.

PAMELA

PAMELA són les sigles de Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics (Carregament per a l'exploració de matèria-antimatèria i l'astrofísica de nuclis lleugers). Va ser llançat el 15 de juny de 2006 connectat al satèl·lit rus Resurs-DK1. Va estar recollint dades durant 10 anys, fins al 2016, i va ser el primer espectròmetre magnètic en un satèl·lit. Les partícules carregades que passen per l'obertura de l'instrument són desviades pel camp magnètic. Les trajectòries corbes resultants proporcionen el signe de càrrega elèctrica i la rigidesa magnètica (quantitat de moviment/càrrega) de les partícules. El signe de la càrrega elèctrica es determina amb un grau de confiança molt alt i l'impuls de la partícula es mesura fins a 1,2 TeV.



Figura 7.2: PAMELA

AMS-02

AMS són les sigles de L'Alfa Magnetic Spectrometer. Del 2 al 12 de juny de 1998, l'AMS-01 va volar en una llançadora. Anys més tard, el 16 de maig de 2011, va ser llançat a l'Estació Espacial Internacional (ISS) l'AMS-02 i es va instal·lar el 19 de maig de 2011. És un detector de física de partícules d'última generació dissenyat per funcionar com a mòdul extern a l'Estació Espacial Internacional (ISS). Utilitza

l'entorn únic de l'espai per estudiar l'univers i el seu origen buscant antimatèria i matèria fosca mentre realitza mesures de precisió de la composició i el flux dels raigs còsmics. AMS és una col·laboració internacional que inclou 44 institucions d'Amèrica, Europa i Àsia. L'últim estudi publicat d'aquest espectròmetre ha sigut sobre els raigs còsmics del Ferro. En comparar els espectres d'energia de diferents partícules de raigs còsmics, els investigadors esperen obtenir informació sobre els processos que acceleren aquestes partícules en les supernoves i sobre el mitjà interestel·lar a través del qual es propaguen les partícules.

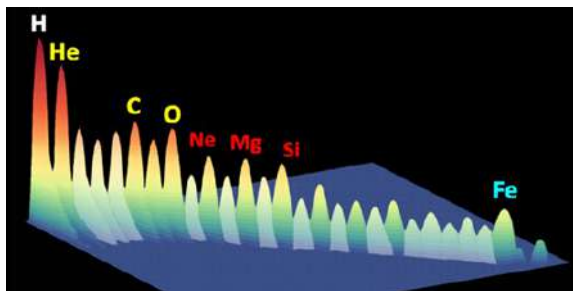


Figura 7.3: Gràfic de la diversitat de raigs còsmics



Figura 7.4: AMS-02

La web oficial de l'AMS conté un comptador actualitzat de la quantitat de raigs còsmics detectats. Actualment (18 d'abril de 2022, 19:58) el número és 201.641.956.480.

7.1.2 Globus a alta altitud

Un altre mètode per estudiar els raigs còsmics és amb globus. El primer a fer-lo servir va ser Víctor Hess, el físic que va estudiar la radiació ionitzant i va descobrir els raigs còsmics. Des de llavors s'han dut a terme molts altres experiments amb globus.

TIGER

TIGER (Trans-Iron Galactic Element Recorder) és un instrument de la NASA transportat per un globus que va tenir tres vols exitosos: un a New Mèxic i els altres dos a l'Antàrtida. L'instrument TIGER mesura la composició elemental dels raigs còsmics més pesants que el ferro. El primer vol que va fer a l'Antàrtida va aterrar al voltant de les 21:00 el 21 de gener de 2002 (hora de McMurdo a l'Antàrtida), 31 dies

21,5 hores després del llançament. L'altitud del vol era de més de 33km. Després d'aquest viatge, el TIGER va tornar als Estats Units, va ser millorat, i el van tornar a enviar a l'Antàrtida. Aquest cop va ser llençat el 16 de desembre de 2003 a les 23:05. Va fer dues voltes (la segona la va començar el 30 de desembre) i el 4 de gener de 2004 va aterrar a la base antàrtica australiana Mawsón. L'altitud mitjana d'aquest vol era de 39 metres.



Figura 7.5: TIGER

BESS

BESS són les sigles de (The Balloon-borne Experiment with a Superconducting Spectrometer). Aquest projecte, realitzat conjuntament per estatunidencs i japonesos, serveix per buscar antimatèria en la radiació còsmica, així com mesurar l'energia i la intensitat de components menys exòtics de la radiació còsmica. Aquesta informació sobre l'antimatèria pot ser molt útil per buscar respostes a les preguntes sobre la datació de l'Univers. El programa BESS ha tingut 11 campanyes de vol d'èxit des de 1993, nou sobre l'hemisferi nord i dos sobre l'Antàrtida. L'instrument ha estat modificat i millorat cada any.



Figura 7.6: BESS

CREAM

CREAM són les sigles de The Cosmic Ray Energetics and Mass. Aquest experiment va ser dissenyat i construït per mesurar espectres elementals de raigs còsmics mitjançant una sèrie de vols en globus de llarga durada. L'objectiu és estendre la mesura directa de la composició dels raigs còsmics a les energies capaces de generar pluges d'aire gegantines que s'han observat principalment a terra, proporcionant així un calibratge per a mesures indirectes. Aquest experiment ha tingut 8 vols des del 2004 fins al 2017.



Figura 7.7: CREAM en el globus



Figura 7.8: CREAM

7.2 DETECCIÓ INDIRECTA

Aquests tipus de detecció es du a terme des de la superfície terrestre.

PIERRE AUGER

L'observatori Pierre Auger mesura les pluges de raigs còsmics per determinar l'energia, la direcció i la naturalesa d'aquestes partícules altament carregades. Consisteix en 1600 detectors que cobreixen 3000 km², amb una distància de 1,5 km entre detectors. També conté 24 telescopis de fluorescència distribuïts en 4 edificis. Aquest observatori està situat a Mendoza, Argentina. 400 científics de 90 institucions de 17 països col·laboren cada any a l'observatori. Pierre Auger va ser un físic francès que pot ser considerat el descobridor de les pluges de partícules generades per la interacció dels raigs còsmics a l'atmosfera.



Figura 7.9: Observatori Pierre Auger

ICECUBE

L'observatori de Neutrinos IceCube és el primer detector d'aquest tipus, dissenyat per observar el cosmos des de les profunditats del gel del Pol Sud. Cobreix 1 km³ de gel. IceCube busca partícules subatòmiques quasi sense massa anomenades neutrinos. Aquestes partícules astronòmiques d'alta energia ofereixen informació per a investigar les fonts astrofísiques més violentes. Aproximadament 300 físics de 53 institucions en 12 països conformen la Col·laboració IceCube.



Figura 7.10: L'observatori de Neutrinos

MAGIC

MAGIC es troba a l'Observatori del Roque de los Muchachos a l'illa Canària de La Palma, a 2200 m d'altitud. El primer telescopi amb un diàmetre de 17m va començar a prendre dades el 2004, mentre que el 2009 es va afegir un segon telescopi similar per augmentar significativament la sensibilitat mitjançant observacions estèreo. Amb MAGIC s'està investigant una àmplia gamma de qüestions astrofísiques mitjançant l'observació dels sistemes galàctics més energètics, com ara restes de supernoves, púlsars i sistemes binaris, així com objectes extragalàctics, sobretot els nuclis galàctics actius (AGN) i els esclats de raigs gamma. A més, s'aborden aspectes cosmològics com la matèria fosca freda, els efectes de la gravetat quàntica i els camps magnètics intergalàctics.



Figura 7.11: MAGIC

8. LA CAMBRA DE BOIRA

Una cambra de boira és un detector de partícules. Quan mires a dins, pots veure el traç d'aquestes partícules elèctricament carregades.

8.1 CREACIÓ ORIGINAL

La cambra de boira també s'anomena cambra Wilson, ja que l'inventor va ser en Charles Thomson Rees Wilson, un físic escocès de finals del segle XIX. Va crear i millorar la primera cambra de boira l'any 1911.

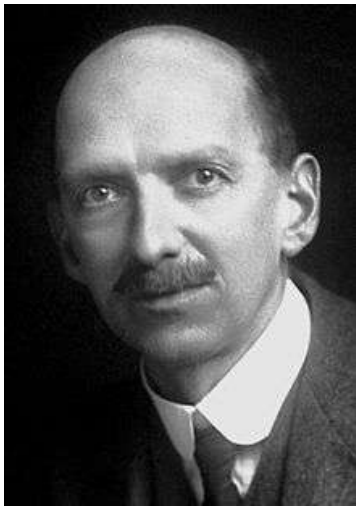


Figura 8.1: Charles Thomson Rees Wilson



Figura 8.2: Cambra de Boira original o Cambra Wilson

Inicialment, a mitjans del 1890 la cambra de boira va ser creada per formar núvols petits i poder estudiar fenòmens relacionats (d'aquí ve el nom en anglès: cloud chamber). Després de molts estudis, 20 anys més tard, en Wilson va perfeccionar el primer detector de partícules.

La cambra de boira original consistia en tres subcambres, que s'anomenaven cambra sensible, cambra de control i cambra de buit.

La cambra sensible és on es podia veure el traç dels raigs còsmics. Era un recinte tancat hermèticament amb aire saturat dins, aquest aire contenia la màxima humitat possible.

La cambra de control tenia un pistó en un extrem, una vàlvula a l'altre i estava plena d'aigua. Quan s'obria la vàlvula, entrava aire que empenyia el pistó cap amunt, així es comprimia l'aire de la cambra sensible.

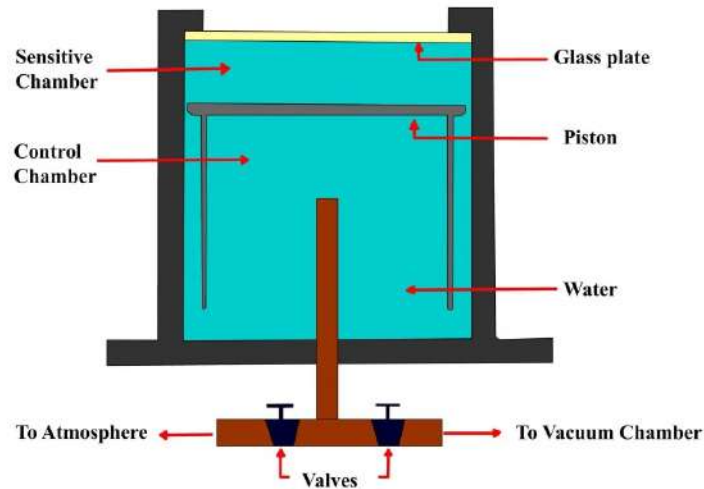


Figura 8.3: Dibuix del funcionament de la cambra de boira

També hi havia una altra vàlvula situada entre la cambra de control i la cambra de buit. Això permetia que s'escapés aire de la cambra de control i baixés el pistó, així es tornava a iniciar el procés.

Quan l'aire saturat s'expandeix i el pistó baixa, es disminueix l'energia interna de l'aire i això produeix una disminució en la temperatura. A conseqüència, l'aire saturat arriba a un estat supersaturat, on el vapor està a punt de condensar-se, però requereix un impuls addicional. Aquest impuls el fan les partícules subatòmiques carregades que creuen per la cambra. Aquestes ionitzen les molècules de l'aire, és a dir, expulsen electrons de la seva òrbita. Llavors, les molècules ionitzades s'atrauen i formen un rastre de gas ionitzat que condensa petites gotes d'aigua. Els rastres solen durar uns segons i les seves característiques depenen de la partícula ionitzant.



Figura 8.4: Imatge del rastre que deixen els raigs còsmics

L'inconvenient principal de la cambra de Wilson era que hi havia un flux discontinu del funcionament, per tant, no es podia detectar tota la radiació.

L'any 1936, Alexander Langsdorf va construir una cambra de boira que no tenia l'inconvenient de la cambra de Wilson, és a dir, el funcionament era continu. En lloc de vapor d'aigua utilitzava alcohol, ja que el punt de congelació era més baix. Aquesta cambra era més senzilla i feia servir un pot de vidre senzill amb una part superior calenta i una part inferior freda, produïda per gel sec. A conseqüència de la part calenta, l'alcohol es vaporitza, i llavors, la part inferior freda fa que es creï un gradient de temperatura que fa que el vapor aconseguixi un estat supersaturat. Com que el gradient de temperatura es manté sempre, el pas de la radiació es pot detectar contínuament.

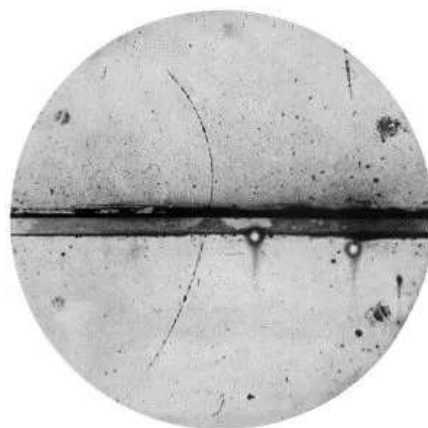






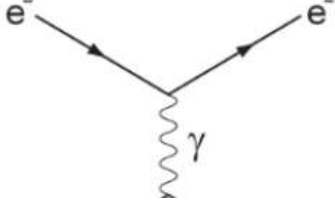
Figura 8.5: Primera imatge d'un positró

Gràcies a la cambra de boira, es va poder detectar el primer positró, i amb això el descobriment de l'antimatèria. L'any 1929 el científic Paul Adrien Maurice Dirac va

proposar la idea de les antipartícules, que sorgia d'una versió d'ona relativista de l'equació d'ona de Schrödinger. Paul Dirac i Carl D. Anderson el 1932 van descobrir l'antielectró el qual van anomenar positró. El traç que deixen els positrons en una cambra de boira és el mateix camí helicoidal que el d'un electró que amb la corba cap al sentit contrari, ja que tenen la mateixa massa però càrrega oposada.

8.2 QUE ES POT VEURE?

Cada partícula deixa un traç diferent. Aquests són uns quants dels que es poden veure. (Aquests dibuixos provenen del CERN)

PARTÍCULA	IMATGE	EXPLICACIÓ
Muó (μ) o antimuó (μ^+)		<p>Són partícules ràpides que ionitzen les molècules de l'aire sense dispersar-se.</p>
Electró o positró		
Partícules α		<p>Són sistemes de partícules alfa que tenen una alta densitat ionitzant.</p>
Electrons amb camp magnètic		<p>El traç dels electrons surt corbat si hi ha interacció electromagnètica. Si es un positró la corba serà la inversa.</p> 


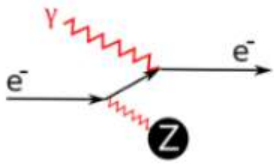
<p>Fotoelectró</p>		<p>Els fotoelectrons són electrons de baixa energia alliberats per fotons d'alta energia. Cada canvi de direcció és per un xoc amb una partícula no carregada que fa que perdin energia.</p> 
--------------------	---	--

Figura 8.6: Taula dels raigs còsmics que es poden detectar amb la cambra de boira




METODOLOGIA

9. CONSTRUCCIÓ DE LA CAMBRA DE BOIRA

El treball de camp del meu TDR es basa en la detecció de raigs còsmics a partir d'una cambra de boira. Per tant, el primer pas és la construcció d'aquesta cambra. Parteixo d'un muntatge que he trobat a la pàgina web del CERN (acrònim en francès de "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire" que significa "Consell Europeu per a la Recerca Nuclear") i el desenvolupo fins a construir una cambra de boira que em funcioni amb el material i condicions que tinc. Per tant, a la part pràctica del meu TDR, començo amb un muntatge d'una cambra de boira que no em funciona i busco els problemes i les solucions per tal que funcioni. Un cop he dut a terme una cambra de boira funcional, capturo imatges i gravacions dels raigs còsmics i identifico quin tipus hi ha.

A continuació, el muntatge de la cambra de boira amb el que parteixo, el del CERN:

9.1 MATERIAL

<p>1-Caixa transparent: Pot ser de plàstic o de vidre. La part de dalt ha de ser oberta.</p>	<p>2- Feltre d'uns 5 mm aprox.</p>	<p>3- Pins, cinta adhesiva, imants... Serveixen per enganxar el feltre a la caixa</p>
		

4- Placa metàl·lica: Ha de cobrir completament la caixa transparent i ha de ser negra.



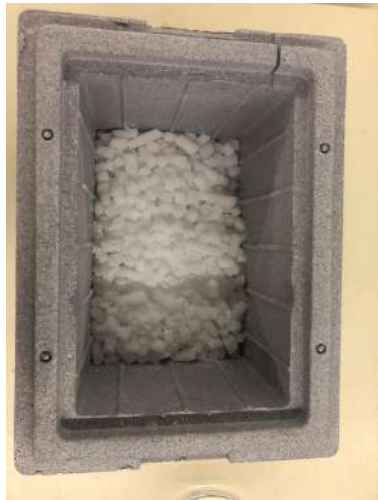
5- Una base/caixa una mica més gran que la placa metàl·lica.



6- Un llum molt potent



7- Gel sec: diòxid de carboni sòlid a -78°C



9- Isopropanol / Alcohol isopropílic



9.2 PROCEDIMENT

1. Enganxar el feltre a la part inferior de la caixa transparent.



2. Col·locar el gel sec dins la base/caixa.



3. Tirar isopropanol a la caixa amb el feltre fins que quedi moll.



4. Col·locar la placa metàl·lica sobre el gel sec.

5. Tirar l'excés d'isopropanol de la caixa sobre la placa metàl·lica i col·locar la caixa transparent sobre.



6. Tancar la llum de l'habitació i obrir la llum de la llanterna. Mirar els diferents traços de les partícules que veiem.





Figura 9.1: Muntatge propi inicial de la cambra de boira

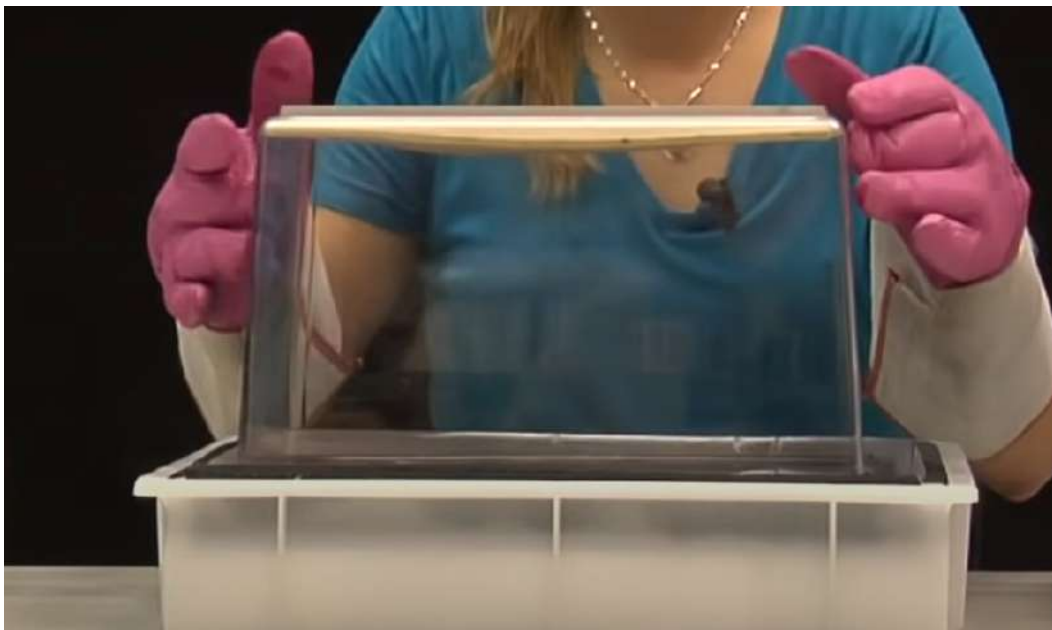


Figura 9.2: Muntatge del CERN de la cambra de boira

TREBALL DE CAMP

10. MUNTATGE DE LA CAMBRA DE BOIRA

10.1 PRIMER MUNTATGE



Figura 10.1: Primer muntatge de la cambra de boira

El primer muntatge ha sigut realitzat seguint el procediment descrit anteriorment. El primer problema amb què ens trobem és que l'isopropanol fa que la cinta de doble cara no enganxi bé i el feltre caigui. Ho solucionem enganxant el feltre amb imants. A continuació veiem que no es crea boira i creiem que és perquè el pot de vidre que utilitzem no aïlla bé. Per solucionar-ho, posem cinta aïllant al voltant.



Figura 10.2: Pot de vidre amb cinta aïllant



Figura 10.3: Cinta aïllant

En veure que encara no es crea boira, posem una altra capa de feltre per poder posar més isopropanol, també afegim més isopropanol a la placa metàl·lica perquè es creï una pel·lícula i aïlli millor.

- Problema: No es crea boira.
- Possible motiu: L'espai entre el pot de vidre i la placa metàl·lica fa que s'escapi la boira.
- Possible solució: Canviar el material.

10.2 SEGON MUNTATGE

Aquest cop canviem el pot de vidre i la safata metàl·lica per uns de més petits per tal que sigui més fàcil que es creï la boira.



Figura 10.4: Pot de vidre i safata metàl·lica de mida petita



Figura 10.5: Segon muntatge

D'aquesta manera no hi ha cap espai entre el pot de vidre i la placa metàl·lica i hi ha més contacte amb el gel (així es refreda més).

Com que la superfície és blanca, no podem veure bé els resultats, per tant, decidim posar el pot de vidre (amb el feltre mullat d'isopropanol) sobre la safata metàl·lica negra, i posar el gel fent contacte directe perquè es refredi més.

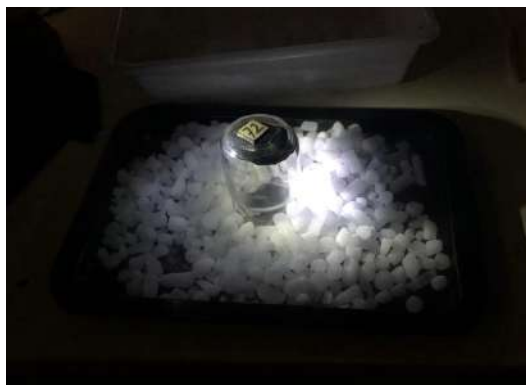


Figura 10.6: Muntatge amb la safata negra

Com que segueix sense funcionar, decidim canviar el material metàl·lic i utilitzem una olla. Després de molta espera, en aixecar el pot de vidre veiem una mica de boira, però no es veuen els traços dels raigs còsmics



Figura 10.7: Muntatge utilitzant una olla com a safata metàl·lica

- Problema: Es crea poca boira i no es veuen els raigs còsmics.
- Possible motiu: El gel s'ha escalfat i ja no està tan fred, el material metàl·lic no és prou conductor de la fredor.
- Possible solució: Canviar el material i fer servir nou gel.

10.3 TERCER MUNTATGE



Figura 10.8: Tercer muntatge

Per realitzar aquest muntatge hem utilitzat alcohol etílic i gel normal (aigua al congelador). Hem fet servir un pot de vidre amb la tapa metàl·lica. No hem aconseguit boira.



Figura 10.9: Muntatge amb un pot de plàstic i una paella

Llavors, hem repetit el mateix procediment però utilitzant un pot de plàstic i una paella com a superfície metàl·lica. No estava ben aïllat i l'aigua del gel entrava dins del pot de plàstic.

- Problema: no es crea boira i no està ben aïllat.
- Possible motiu: el gel no està prou fred.
- Possible solució: fer servir gel sec i posar plastilina per a aïllar bé el pot.

10.4 QUART MUNTATGE



Figura 10.10: Quart muntatge amb una paella



Figura 10.11: Quart muntatge amb una safata amb forats

Per a construir aquest muntatge hem tornat a utilitzar gel sec i isopropanol. La caixa transparent era de plàstic i hem afegit plastilina per a aïllar bé. També hem afegit un pot amb aigua calenta a sobre per tal que l'isopropanol s'evapori més fàcilment i ho hem intentat amb dues safates metàl·liques diferents.



Figura 10.12: Nitrogen líquid



Figura 10.13: Muntatge amb la safata



Figura 10.14: Imatge de la boira que es crea

Com que no es creava boira, hem afegit nitrogen líquid, que es troba a -196°C , per tant, està molt més fred que el gel sec. A més a més, hem tornat a canviar la safata metàl·lica, ja que les que havíem utilitzat no conduïen prou la fredor. Aquest cop, hem aconseguit veure la boira perfectament i també hem pogut veure el rastre de 2 o 3 raigs còsmics. També hem fet uns forats amb xinxetes a la part superior de la cambra per poder afegir isopropanol sense desfer el muntatge.

- Problema: S'haurien de veure entre 5 i 10 raigs còsmics al segon i només n'hem vist 2 o 3 en 1-2 hores.
- Possible motiu: No hi ha boira a tota la cambra.
- Possible solució: Refredar el pot de plàstic per tal que sigui més fàcil assolir la temperatura.

10.5 CINQUÈ MUNTATGE



Figura 10.15: Cinquè muntatge

Per a aquest muntatge hem tornat a repetir el mateix procediment que en el quart muntatge, però refredant a la nevera el pot de plàstic uns minuts i utilitzant una placa metàl·lica més petita perquè no s'escapi la fredor. Hem tornat a fer servir nitrogen, però ja no en quedava tant, ja que feia uns dies que estava a casa. Hem pogut veure la boira molt ràpidament, però no hem vist cap raig còsmic.

10.6 SISÈ MUNTATGE



Figura 10.16: Sisè muntatge

Aquest cop, hem intentat fer el muntatge amb 3 recipients diferents: un pot de plàstic, un de vidre i un altre pot molt petit també de vidre. Per tal que no s'escapi la fredor, hem posat pinces que agafen la safata on hi ha el gel sec i la safata metàl·lica. També hem posat pots amb aigua calenta sobre cada pot per a afavorir l'evaporació de l'isopropanol. Ràpidament, hem pogut veure que es creava boira en

els dos pots grans, però en el petit no. També hem vist que la boira es crea més ràpidament quan la safata metàl·lica queda coberta de glaç, això fa que la plastilina quedi dura i no entri aire. Perquè es formi el glaç a la safata, ha d'haver-hi contacte directe amb el gel i la safata metàl·lica.



Figura 10.17: Boira



Figura 10.18: Glaç a la safata

Tot i que hem pogut veure boira tant en el pot de vidre com en el de plàstic, només hem pogut veure el traç de les partícules en el pot de vidre, probablement ha sigut coincidència, ja que com que el pot de vidre és més transparent i es veu millor, ens hi hem fixat més. No he pogut gravar cap raig còsmic pel fet que en passaven pocs i la càmera no enfocava bé.

10.7 SETÈ MUNTATGE

El setè muntatge l'hem realitzat amb un pot de vidre molt similar al del sisè muntatge.



Figura 10.19: Setè muntatge

Hem utilitzat plastilina per a aïllar l'interior del pot de vidre, pinces perquè no s'escapi la fredor i un pot amb aigua calenta a sobre per a afavorir l'evaporació de l'isopropanol. La boira s'ha creat molt ràpidament, però el traç dels raigs còsmics s'han tardat més a veure. Aquest cop, n'hem vist bastants, per tant, la cambra de boira ha funcionat correctament. Tot i això, tampoc n'hem vist tants com en el vídeo del CERN en el qual m'he basat. A més a més, aquesta vegada sí que els he pogut gravar.

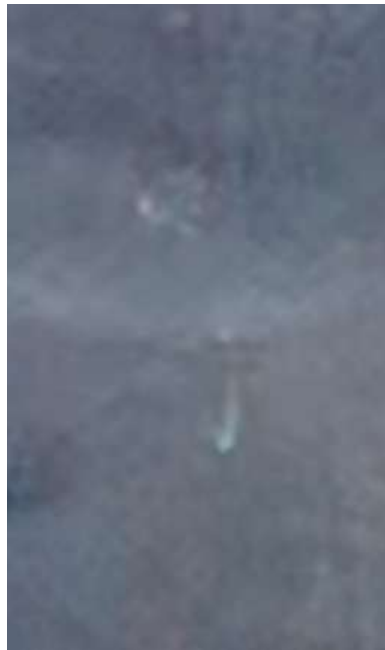


Figura 10.20: Raig còsmic

Figura 10.21: Raig còsmic

Figura 10.22: Raig còsmic

Tot i que quasi no es pugui veure, aquestes línies són el traç que deixen els raigs còsmics en passar per la boira d'isopropanol. Cada partícula deixa un traç diferent.

11. MUNTATGE DEFINITIU

Després de molts muntatges diferents per descobrir quin funciona millor, he arribat a aquest muntatge definitiu.

11.1 MATERIAL:

Feltre	Plastilina
	
Pot de vidre	Placa metàl·lica negra
	

Isopropanol



Nitrogen líquid (-196°C) o gel sec (-78°)



Imants



Safata



Pinces



Tisores



Llanterna



Material de protecció pel nitrogen
(guants i ulleres)



11.2 PROCEDIMENT:

1. Retallem el feltre amb la mida del fons del pot de vidre.



2. Amb els imants, col·loquem el feltre en el pot de vidre.



3. Tirem isopropanol en el feltre fins que quedi tot moll però no gotegi.



4. Col·loquem el pot de vidre (amb el feltre moll d'isopropanol dins) sobre la safata metàl·lica i ho enganxem amb plastilina perquè quedi ben aïllat.



5. Posem nitrogen líquid o gel sec a la safata. (El nitrogen líquid es troba a una temperatura molt inferior que el gel sec, per tant, funciona millor. Tot i això, la temperatura del gel sec és prou freda i és més fàcil d'aconseguir.)



6. Col·loquem la placa metàl·lica (amb el pot de vidre) sobre la safata amb nitrogen i ho fixem amb les pinces.



7. Tanquem la llum i il·luminem amb un lot potent la cambra de boira. En uns 5-10 minuts hauríem de veure una boira i el traç dels raigs còsmics.



11.3 RECOMANACIONS:

- Col·locar la cambra de boira a l'exterior perquè hi hagi menys impediments i arribin més partícules. Per tant, s'ha de fer a la nit.
- En el cas d'utilitzar gel sec, la cambra de boira funciona millor si el gel té contacte directe amb la safata metàl·lica.
- Si la safata metàl·lica es glaça, vol dir que la temperatura és prou baixa.
- Col·locar un got d'aigua calenta sobre el pot de vidre perquè l'isopropanol s'evapori millor.
- Fer servir una safata de porexpan per aïllar el nitrogen i no malgastarlo.

12. LES PARTÍCULES OBSERVADES

FOTO	DIBUIX
	
<p>Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.</p>	
	
<p>Aquesta partícula sembla un electró o positró, ja que la línia és prima i podem veure curvatura.</p>	



Aquest traç sembla el d'una partícula α , ja que és un traç gruixut.



Aquest traç sembla el d'un fotoelectró, ja que es va corbant cada cop que perd energia.



Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.



Aquest traç podria ser el d'un fotoelectró o podria ser una partícula que xoca amb una altra i per això canvia de sentit.



Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.



Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.



Aquest traç sembla el d'un fotoelectró, ja que té una corba marcada que podria ser de quan perd energia.



Aquest traç podria ser el d'un electró o positró per la curvatura.



Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.



Aquest traç sembla el d'una partícula α , ja que és un traç gruixut.



Aquest traç podria ser el d'un fotoelectró o podria ser una partícula que xoca amb una altra i per això canvia de sentit.



Aquesta partícula sembla un electró, positró, muó o antimuó, ja que el traç és prim.

Figura 12.1: Taula amb els raigs còsmics que he observat

Els següents enllaços contenen una recopilació dels vídeos dels raigs còsmics que vaig poder gravar. El primer enllaç conté els vídeos del setè muntatge, i el segon enllaç del muntatge definitiu.

<https://youtu.be/hadwdpdNZRs> (45 s)

<https://youtu.be/SbT8fvRkze8> (52 s)

13. CONCLUSIONS

La hipòtesi plantejada a l'inici d'aquest treball és certa. Durant aquest treball de recerca he dut a terme un llarg procés d'aprenentatge, començant per la part teòrica on he fet recerca bibliogràfica sobre els raigs còsmics, com són, d'on venen... Per tant, els dos primers objectius han sigut assolits amb molt d'aprofitament.

A la part pràctica he hagut d'utilitzar el mètode científic i endinsar-me en el món de la recerca mitjançant el muntatge d'una cambra de boira per detectar partícules. Vaig partir d'un muntatge inicial que vaig obtenir de la pàgina web del CERN (Consell Europeu per a la Recerca Nuclear) que vaig haver de desenvolupar fins a aconseguir un model que em funcioni correctament. Vaig arribar a les conclusions de què:

- És necessari posar plastilina perquè l'interior de la caixa quedi ben aïllada i no entri aire, si no es crea boira.
- El gradient de temperatura ha de ser molt gran, és a dir, la part de baix ha d'estar molt freda i amb el gel sec no sempre s'obté.
- Amb una caixa petita és molt més fàcil aconseguir que l'alcohol estigui en l'estat supersaturat que es necessita (boira), però llavors es veuen menys raigs còsmics.
- És molt complicat gravar els raigs còsmics bé amb una càmera de mòbil.

Quasi tot el material que he utilitzat l'he comprat a un preu baix o ja el tenia a casa. Els únics materials que ha sigut més difícil d'aconseguir ha sigut l'isopropanol, el gel sec i el nitrogen líquid. Jo els vaig aconseguir dels laboratoris on treballen els meus pares. Tot i ser difícil d'aconseguir, són materials que estan a molts laboratoris de recerca científica i també es poden comprar (el gel sec: 40€/5Kg), per tant, el tercer objectiu també l'he aconseguit.

La següent part del treball de recerca era la identificació de les partícules observades. No he pogut saber amb certesa quines partícules veia pel fet que era molt complicat gravar-les per veure bé la trajectòria. A més a més, per saber amb certesa quines partícules eren, necessitaria uns instruments de recerca més complexos, com per exemple, amb camps magnètics. Amb aquesta identificació he arribat a la conclusió de què:

- La majoria de traços són línies rectes o lleugerament corbades i primes. Això indica que són electrons i muons (o positrons i antimuons).

Aquest treball el continuaria amb una millor identificació de les partícules observades, ja que, com he dit anteriorment, no les he pogut identificar amb seguretat. Per fer-ho, afegiria camps magnètics a la cambra de boira per poder veure la curvatura de les partícules i saber si estan carregades elèctricament. També intentaria construir una cambra de boira més gran, amb millor il·luminació (llums de leds fixes) i amb una càmera més bona (també fixa) per tal de poder veure i gravar els raigs còsmics millor. Finalment, m'agradaria portar la cambra de boira a un lloc més elevat (una muntanya per exemple), per poder detectar partícules que hagin tingut menys interacció amb l'atmosfera i comparar els resultats.

Gràcies a aquest treball he tingut l'oportunitat de treballar amb el mètode científic i endinsar-me en el món de la recerca astrofísica. He entès el que la recerca científica suposa: els experiments evolucionen al llarg del treball, et trobes amb imperfeccions que no esperaves i has d'intentar entendre el motiu i solucionar-lo, etc.

A la introducció d'aquest treball vaig comentar que una de les meves motivacions era descobrir si realment vull estudiar i dedicar-me a l'astrofísica. Després de tot aquest treball continuo volent estudiar física i treballar en un laboratori, ja que m'ha interessat molt.

He assolit tots els objectius que m'havia proposat a l'inici i altres de nous que m'han anat sorgint. Els resultats del treball de recerca han estat exitosos.

14. BIBLIOGRAFIA

- País, E. L. (2009, January 21). *Victor Hess contra los rayos cósmicos siderales*. Ediciones EL PAÍS S.L.
https://elpais.com/sociedad/2009/01/21/actualidad/1232492409_850215.html
- *Victor Hess discovers cosmic rays*. (n.d.). Cern.Ch. Retrieved September 15, 2022, from <https://timeline.web.cern.ch/victor-hess-discovers-cosmic-rays-0>
- *Lessón 20 - lecture 2 - cosmic rays* - OpenStax. (2019, January 19).
<https://youtu.be/RhTGMuyYdGI>
- Oppermann, R. H. (1945). What are cosmic rays? *Journal of the Franklin Institute*, 239(3), 244. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(45\)90107-4](https://doi.org/10.1016/0016-0032(45)90107-4)
- *The Universe is Hostile to Computers*. (2021, August 31).
https://youtu.be/AaZ_RSt0KP8
- *Definition of KAON*. (n.d.). Merriam-webster.com. Retrieved September 15, 2022, from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/kaon>
- Howell, E. (2018, May 11). *What are cosmic rays?* Space.com; Space.
<https://www.space.com/32644-cosmic-rays.html>
- *What does PION mean?* (n.d.). Definitions.net. Retrieved September 15, 2022, from <https://www.definitions.net/definition/PION>
- *Muón*. (n.d.). Quimica.es. Retrieved September 15, 2022, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Mu%C3%B3n.html>
- Planas, O. (2016, October 27). *¿Qué es un electrón? Carga, masa y características*. Energia-nuclear.net.
<https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo/electron>
- Planas, O. (2019, October 24). *¿Qué són los rayos gamma?* Energia-nuclear.net.
<https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/radioactividad/rayos-gamma>
- Sancho, P. L. (2019, April 24). *¿Qué són los neutrinos?* Ediciones EL PAÍS S.L. https://elpais.com/elpais/2019/04/22/ciencia/1555928900_548619.html
- *First observations of the spontaneous discharge of an electrometer*. (n.d.). Cern.Ch. Retrieved September 15, 2022, from <https://timeline.web.cern.ch/first-observations-spontaneous-discharge-electrometer>

- Millis, J. P. (2010, March 19). *Cosmic Rays*. ThoughtCo.
<https://www.thoughtco.com/history-and-sources-of-cosmic-rays-3073300>
- The Editors of Encyclopedia Britannica. (2013). positron. In *Encyclopedia Britannica*
- El Sol. (2017, November 9). National Geographic.
<https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- El Sol es la estrella más cercana a la Tierra. (n.d.). Astromia.com. Retrieved September 15, 2022, from <https://www.astromia.com/solar/sol.htm>
- (N.d.). Cern.Ch. Retrieved September 15, 2022, from <https://indico.cern.ch/event/197799/contributions/371924/attachments/291924/408037/12SpacepartDeangelis.pdf>
- *Cosmic Radiation: Why We Should not be Worried*. (2021, April 12). Iaea.org.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/cosmic-radiation-why-we-should-not-be-worried>
- Sánchez, B. C. (2022, January 4). *Qué són las auroras boreales y cómo se producen*. *Www.mundodeportivo.com/uncomo*.
<https://www.mundodeportivo.com/uncomo/ocio/articulo/que-són-las-auroras-boreales-y-como-se-producen-51782.html>
- Us Epa, O. (2018). *Radiation from solar activity*.
<https://www.epa.gov/radtown/radiation-solar-activity>
- Català Amigó, Joan Antón (2019, Març). *Guia d'observació del cel per a nois i noies*. Valls: Cossetània Edicions
- Blundell, K. (2015). *1. What is a black hole?* Oxford University Press.
- *Cosmic rays: Messengers from A million light-years away | cosmic vistas | spark*. (2021, July 28).
- Sutter, P. (2018, August 13). *High-energy whodunit: The origins of the "OMG particle."* Space.
<https://www.space.com/41458-omg-particle-cosmic-ray-mystery.html>
- *About the Fermi gamma-ray space telescope*. (2015).
<https://www.nasa.gov/content/fermi/overview>
- *AMS-02*. (n.d.). Ams02.Space. Retrieved September 15, 2022, from <https://ams02.space/>
- *PAMELA experiment web page*. (n.d.). Infn.It. Retrieved September 15, 2022, from <https://pamela-web.web.roma2.infn.it/>

- Barbier, B. (n.d.). *TIGER - NASA's trans-Iron Galactic Element Recorder*. Nasa.gov. Retrieved September 15, 2022, from <https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/tiger/>
- PierreUser. (2018, April 22). *Detectores de superficie*. Observatorio Pierre Auger. <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/detectores-de-superficie-galeria/>
- Seo, E.-S. (n.d.). *Cosmic Ray Energetics And Mass (CREAM)*. Umd.edu. Retrieved September 15, 2022, from <https://cosmicray.umd.edu/cream/>
- (N.d.). Harvard.edu. Retrieved September 15, 2022, from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010cosp...38.4095M/abstract>
- (N.d.). Iop.org. Retrieved September 15, 2022, from <https://www.iop.org/explore-physics/understanding-our-environment/cloud-chamber#gref>
- *The MAGIC telescope in La Palma (canary islands, Spain)*. (n.d.). Ethz.Ch. Retrieved September 15, 2022, from <https://ipa.phys.ethz.ch/research/ResearchProjects/magic.html>
- *IceCube overview*. (n.d.). IceCube. Retrieved September 15, 2022, from <https://icecube.wisc.edu/about-us/overview/>
- *Cambra de boira (Teoria)*. (2011, October 16). La cambra de boira. <https://lacambradeboira.wordpress.com/cambra-de-boira-teoria/>
- *Cloud chamber*. (2019, March 9). Nuclear Power. <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/radiation-detection/cloud-chamber/>
- Hetherington, S. (n.d.). *How to make your own cloud chamber*. CERN. Retrieved September 15, 2022, from <https://home.cern/fr/node/4556>
- Patel, P. (2020, February 2). *What is A Wilson cloud chamber?* Science ABC. <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-a-wilson-cloud-chamber.html>

14. 1 LLISTA DE FIGURES

- Figura 4.1 https://es.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb
- Figura 4.2 https://es.wikipedia.org/wiki/William_Crookes
- Figura 4.3 <https://indico.cern.ch/event/197799/contributions/371924/attachments/291924/408037/12SpacepartDeangelis.pdf>
- Figura 4.4 https://es.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel
- Figura 4.5 <https://www.hola.com/actualidad/2015020276494/marie-pierre-curie-san-valentin/>
- Figura 4.6 <https://timeline.web.cern.ch/victor-hess-discovers-cosmic-rays-0>
- Figura 4.7 <https://youtu.be/RhTGMuyYdGI>
- Figura 4.8 <https://youtu.be/RhTGMuyYdGI>
- Figura 4.9 https://www.youtube.com/watch?v=AaZ_RSt0KP8
- Figura 5.1 <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/what-are-cosmic-rays>
- Figura 5.2 <https://indico.cern.ch/event/197799/contributions/371924/attachments/291924/408037/12SpacepartDeangelis.pdf>
- Figura 5.3 <https://www.ingenieros.es/noticias/ver/el-proton-es-mas-pequeno-de-lo-que-se-creia/3257>
- Figura 5.4 <https://www.pngwing.com/es/free-png-txbkf>
- Figura 5.5 <http://physicszarevision.blogspot.com/2015/03/>
- Figura 5.6 <http://physicszarevision.blogspot.com/2015/03/>
- Figura 5.7 <https://www.thoughtco.com/definition-of-gamma-radiation-604476>
- Figura 6.1 <https://www.youtube.com/watch?v=-J54HjCRdaA>
- Figura 6.2 <https://www.iaea.org/newscenter/news/cosmic-radiation-why-we-should-not-be-worried>
- Figura 6.3 <https://www.epa.gov/radtown/radiation-solar-activity>
- Figura 6.4 <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- Figura 6.5 <https://www.epa.gov/radtown/radiation-solar-activity>
- Figura 6.6 <https://ssl.tzoo-img.com/images/tzoo.98779.0.892793.aurora.jpg?width=412&spr=3>

- Figura 6.7 <https://ar.pinterest.com/pin/144396731790214418/>
- Figura 6.8 <https://spaceplace.nasa.gov/supernova/sp/>
- Figura 6.9 <https://spaceplace.nasa.gov/supernova/sp/>
- Figura 6.10 <https://sp.depositphotos.com/302649126/stock-photo-space-background-with-colorful-galaxy.html>
- Figura 6.11 <https://www.alamy.es/telescopio-espacial-de-rayos-gamma-fermi-equipo-ilustraciones-del-telescopio-espacial-de-rayos-gamma-fermi-en-orbita-sobre-la-tierra-este-observatorio-fue-anteriormente-image334884669.html>
- Figura 6.12 <https://www.youtube.com/watch?v=-J54HjCRdaA>
- Figura 6.13 <https://www.youtube.com/watch?v=-J54HjCRdaA>
- Figura 6.14 <https://www.youtube.com/watch?v=kOEDG3j1bjs>
- Figura 6.15 <https://www.youtube.com/watch?v=kOEDG3j1bjs>
- Figura 6.16 <https://www.youtube.com/watch?v=-J54HjCRdaA>
- Figura 6.17 <https://www.youtube.com/watch?v=-J54HjCRdaA>
- Figura 6.18 <https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/about/telescopes/>
- Figura 7.1 <https://www.nasa.gov/content/fermi/overview>
- Figura 7.2 <https://pamela-web.web.roma2.infn.it/>
- Figura 7.3 <https://ams02.space/>
- Figura 7.4 <https://ams02.space/>
- Figura 7.5 <https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/tiger/>
- Figura 7.6 <https://asd.gsfc.nasa.gov/bess/>
- Figura 7.7 <https://cosmicray.umd.edu/cream/>
- Figura 7.8 <https://cosmicray.umd.edu/cream/>
- Figura 7.9 <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/detectores-de-superficie-galeria/>
- Figura 7.10 <https://icecube.wisc.edu/about-us/overview/>
- Figura 7.11 <https://ipa.phys.ethz.ch/research/ResearchProjects/magic.html>

- Figura 8.1 https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_chamber
- Figura 8.2 https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_chamber
- Figura 8.3 <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-a-wilson-cloud-chamber.html>
- Figura 8.4 <https://interestingengineering.com/diy/heres-how-you-can-build-your-own-cloud-chamber-to-detect-cosmic-rays>
- Figura 8.5 <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-a-wilson-cloud-chamber.html>
- Figura 8.6 Taula propia amb imatges de https://scoollab.web.cern.ch/sites/default/files/documents/20200521_JW_DIYManual_CloudChamber_v7.pdf
- Figura 9.1 Figura propia
- Figura 9.2 <https://home.cern/news/news/experiments/how-make-your-own-cloud-chamber>

Figures 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8, 10.9, 10.10, 10.11, 10.12, 10.13, 10.14, 10.15, 10.16, 10.17, 10.18, 10.19, 10.20, 10.21, 10.22, 12.1: Figures propies