

RADIACIÓ, ESTRUCTURA I INTERACCIONS DE LA MATÈRIA

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
				GAUGE BOSONS	

Mario Agustiño Batet
 Científic (modalitat)
 Daniel Parcerisas (tutor)
 2018-2019

ÍNDIX DEL TREBALL:

1- Introducció general del treball -----	pàg 2
2- Els fonaments de la física moderna -----	pàg 3
• Models de la llum	
• Electromagnetisme	
• Naixement de la física moderna	
• Teoria de la relativitat	
3- Estructura de la matèria -----	pàg 15
• Àtoms i models atòmics	
• Introducció a l' electrodinàmica quàntica	
• Introducció a la cromodinàmica quàntica	
• Model Estandard	
• Acceleradors de partícules i tipus	
4-Part pràctica comú -----	pàg 46
• Visita a la Universitat de Barcelona.	
• Realització de la pràctica de detecció de partícules	
5-Part pràctica pròpia -----	pàg 55
• Realització dels diferents experiments	
• Resultats	
• Interpretació dels resultats	
6-Conclusions -----	pàg 68
7-Agraïments -----	pàg 69
8-Bibliografia i webgrafia -----	pàg 70

1.-INTRODUCCIÓ AL TREBALL:

La matèria que tots coneixem té una estructura molt complexa, començant pels àtoms que la conformen i acabant, segons sabem, a les partícules fonamentals descobertes més recentment. En aquest treball descobrirem les característiques d'aquestes dues estructures, explorant les diferents teories que les expliquen, a part de com unes determinades partícules poden esdevenir radioactives. A més, també explicarem els diferents mètodes experimentals existents avui dia, utilitzats per la detecció i diferenciació de les partícules.

A més, trobo que el fet de centrar el meu treball de recerca en el camp de la física de partícules pot arribar a ser molt beneficiós per a mi, ja que en un futur m'agradaria estudiar el grau de física, per especialitzar-me més endavant en física teòrica.

Per últim, per realitzar aquest treball he dividit aquest en dues parts principals: una part teòrica i una part pràctica. Aquestes dues parts del treball consten d'uns apartats compartits amb altres treballs de tres companys i uns apartats propis, que seran específics del meu treball. La part pràctica ha estat realitzada mitjançant l'ús del detector de partícules Timepix, detector del que vam disposar gràcies al doctor Rafael Ballabriga, exalumne de la Sagrada Família i actual enginyer electrònic al CERN.

A més, abans de començar a plantejar el treball vam proposar una sèrie d'objectius, que ajudarien a portar el treball cap a una direcció determinada. Aquests objectius eren els següents:

- a) *Aprendre a utilitzar l'equació de Schrödinger per tal d'analitzar amb èxit l'evolució d'una partícula determinada respecte al temps, i així ser capaç d'estudiar les diferents ocasions en les que aquestes actuen, com per exemple en situacions d'impacte contra els àtoms de silici del detector.*
- b) *Conèixer nous mètodes experimentals de detecció de partícules per aconseguir augmentar la meva experiència com a físic experimental*
- c) *Conèixer amb més profunditat totes les propietats conegudes de les partícules subatòmiques que incluiran l'estudi que he realitzat com els muons, per exemple.*
- d) *Aprendre a realitzar diagrames de Feynman, al igual que altres mètodes d'expressió, per mostrar les diferents interaccions que poden dur a terme els diferents tipus de partícules.*

- e) *Aprendre a utilitzar un detector de partícules Timepix per poder realitzar una bona recollida de dades en diferents experiments i aconseguir més veracitat en els resultats obtinguts de dits experiments.*
- f) *Aprendre diferents aspectes relacionats amb la electrodinàmica quàntica per tal d'estudiar les diferents explicacions dels diagrames de Feynman.*
- g) *Conèixer els diferents tipus de radiacions, al igual que les seves característiques (partícules que les formen, la seva massa...).*
- h) *Conèixer millor les partícules del model estàndard (propietats, interacció que realitzen amb altres partícules del mateix model...)*
- i) *Aprendre a realitzar matrius, per tal d'entendre millor les diferents teories quàntiques de camps, sobretot la cromodinàmica quàntica, teoria on aquest element és molt present.*
- j) *Comprendre els aspectes bàsics de la Teoria de la Relativitat, per tal d'entendre la seva relació amb les partícules elementals anomenades muons.*
- k) *Aprofundir en les característiques de l'àtom, al igual que en els diferents models que els han explicat durant tota la història.*
- l) *Comprendre el problema de concordança del Model Estandard amb la força de la gravetat, i estudiar així les diferents teories quàntiques de la gravetat.*
- m) *Estudiar els models explicatius de la naturalesa de la llum, i estudiar conceptes com la dualitat ona-còrpuscle.*
- n) *Aprendre els tipus d'acceleradors existents avui dia i comprendre el seu funcionament.*

No obstant, no sabré fins al final quins d'aquests objectius podré assolir.

2.-ELS FONAMENTS DE LA FÍSICA MODERNA:

2.1.-Models de la llum:

Discrepància entre models: Model ondulatori i model corpuscular:

Durant tota la història, la llum va ser interpretada per dos models diferents. Un d'aquests era el model ondulatori, el qual defensava que aquesta es comportava com a un conjunt d'ones, en canvi, l'altre model, el model corpuscular, defensava l'existència d'una estructura interna de la llum més definida, conformada per diversos feixos de partícules, anomenades fotons.

En les següents taules, podem observar clarament les característiques de cadascun d'aquests models, a més a més dels fets que apunten al compliment de cadascun, i els fets que els fan abolir:

-Característiques dels models:

MODEL CORPUSCULAR	MODEL ONDULATORI
Proposat per Isaac Newton (1704)	Proposat per Cristian Huygens (1670)
La llum està formada per partícules, emeses en totes direccions i a gran velocitat	La llum està formada per un conjunt d'ones mecàniques, que es propagaven per mitjà d'un medi material de gran elasticitat.
Aquestes partícules produeixen la visió en arribar al nostre ull, estimulades per un moviment rectilini uniforme	Defensen l'existència de l'èter, el qual és definit com una substància imperceptible, present a tota zona de l'univers
Els corpuscles de diferent naturalesa es combinen per a formar els diferents colors	Les ones creen els diferents colors existents a partir de les seves respectives longituds d'ona, fenomen mesurat per Thomas Young

-Fets que confirmen cadascun dels models:

FETS QUE CONFIRMEN EL MODEL CORPUSCULAR	FETS QUE CONFIRMEN EL MODEL ONDULATORI
<u>Formació d'ombres:</u> Les ombres projectades sobre els objectes són nítides, fet per culpa del rebot i a la continuació del moviment dels corpuscles que formen la llum, a l'instant d'impactar contra el cos.	<u>Lleis de la refracció i la reflexió:</u> Aquestes poden ser demostrades fàcilment amb el principi de Huygens, que enuncia l'apropament del raig refractat a la normal quan el raig de llum passa a un medi amb major densitat.
<u>El camp gravitatori no sembla afectar la trajectòria rectilínia de la llum:</u> Això és degut a la gran velocitat de la llum, que fa que els corpuscles no es vegin afectats pels diferents camps de gravitació.	<u>Colors que formen la llum blanca:</u> Això, és fàcilment raonable si es considera que cadascun dels colors correspon a una longitud d'ona diferent; així, aquest fenomen seria conseqüència dels processos de difracció i refracció lumínica.
<u>Llei de la reflexió:</u> Es pot extrapolar com a una conseqüència d'un xoc elàstic, dut a terme pels corpuscles en impactar amb la superfície reflectora. A més, es poden aplicar els principis de conservació de la quantitat de moviment, juntament amb l'energia.	<u>Dos raigs de llum es creuen sense pertorbar la seva trajectòria:</u> Això és fàcilment demostrable si considerem la llum com un gran conjunt d'ones mecàniques, sense massa, pel que no desviaran les seves respectives trajectòries.

-Fets que deneguen la veracitat dels diferents models:

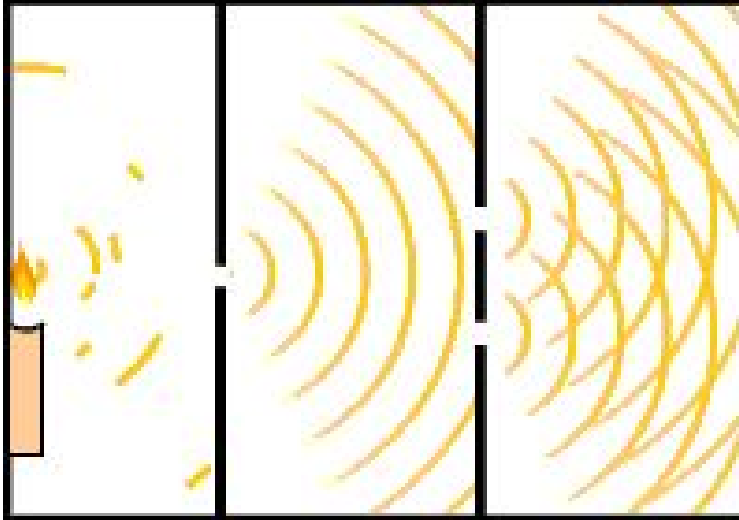
FETS QUE REFUTEN EL MODEL CORPUSCULAR	FETS QUE REFUTEN EL MODEL ONDULATORI
Si veritablement la llum fos un gran feix de partícules, aquesta hauria de perdre massa de forma considerable, aquest fet no és perceptible a la realitat.	La llum no presenta la capacitat de crear obstacles, pels quals desviarà la seva trajectòria, per mitjà de la difracció. Aquest fenomen és propi d'ones.
Si aquest model fos vàlid completament, els raigs de llum secants entre si haurien de desviar les seves respectives trajectòries, fet que no és donat a terme a la realitat.	La propagació de la llum en forma d'ones a través dels medis materials pot ser explicada com la vibració de les respectives partícules del medi al pas del raig de llum. En canvi, aquesta explicació no és

	acceptable pels raigs de llum provinents del Sol.
Segons aquest model, els processos de reflexió i refracció en un mateix sistema d'estudi són inexplicables, ja que no existia una explicació raonable per la qual alguns corpuscles rebotaven davant la superfície reflectora i altres seguien la seva trajectòria al segon medi.	
Quan Newton dedueix el procés de refracció a partir del model corpuscular, dedueix que el raig refractat s'allunya de la normal quan el raig passa d'un medi a un altre més dens, fet que a la realitat és totalment el contrari.	

Al segle XIX, per mitjà d'un experiment realitzat pel físic Thomas Young, molt conegut pel nom de l'experiment de la doble escletxa, es va aconseguir establir que la llum tenia característiques d'un caràcter plenament ondulatori, refutant així, fins a principis del segle XX, el model corpuscular. Aquest experiment, realitzat l'any 1801, va consistir en el següent:

En una habitació fosca, Young va fer entrar un raig ben fi de llum solar, a partir d'un mirall exterior i un forat a la finestra de l'habitació; aquest raig, va ser dirigit a una fina làmina de cartró de perfil respecte al raig, en el qual es podien diferenciar dos tipus de franges: les franges clares i les franges fosques, reflectides a la paret oposada a la làmina, i a cadascun dels forats que els corresponia; aquests, formaven un patró d'interferència, constituït per punts d'interferència constructiva i destructiva.

Si analitzem els resultats de l'experiment, observem que la làmina va separar el raig de llum primari en dues parts o subraigs, aquests difracten en impactar amb aquesta, formant així el patró d'interferència. A partir d'aquest fet, Young va mesurar el gruix de la làmina, les distàncies entre franges i la distància de la làmina a la paret, i aplicant les condicions d'interferència constructiva i destructiva va ser capaç de calcular la longitud d'ona dels subraigs.



Imatge de l'experiment de la doble esclletxa

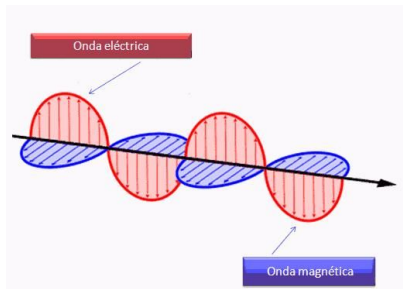
2.2.-Electromagnetisme:

Inconvenients del model ondulatori:

La confirmació del model ondulatori va fer acceptar diferents fets especulats amb la veracitat d'aquest model. El principal d'aquests fets acceptats va ser l'existència de l'èter, com a substància present a tot l'univers; aquest presentava molts inconvenients, ja que aquesta havia de ser molt densa, per permetre la propagació de la llum com a ona transversal i a gran velocitat, i al mateix temps molt tènue, per no arribar a dificultar el moviment dels planetes i dels altres astres. Aquests inconvenients van ser resolts en gran part per James Clerk Maxwell, l'any 1873; aquest, a partir dels fonaments establerts per Faraday, Ampère i Thomson, va dur a terme un estudi sobre els fenòmens elèctrics i magnètics, que, en principi, no guardaven relació amb els fenòmens lluminosos. Els científics anteriorment esmentats, van imposar les bases dels camps elèctrics i els camps magnètics; Maxwell, en canvi, va suposar que aquests dos camps no eren independents entre sí, sinó que cadascun d'ells són originats sota determinades circumstàncies, sent originades per la mateixa magnitud física, la càrrega elèctrica.

A partir d'aquest estudi, Maxwell va poder establir les seves quatre lleis, i combinant-les entre sí, va obtenir una equació semblant a la d'una ona mecànica transversal, però amb un camp elèctric oscil·lant perpendicular a un camp magnètic també oscil·lant. Gràcies a aquest fet, va poder establir que els camps

electromagnètics es propagaven per ones, a una velocitat c , equivalent a la velocitat de la llum.



Imatge que mostra l'estructura esquemàtica presentada per les ones electromagnètiques

Així, Maxwell va aconseguir unir les ones electromagnètiques amb els fets lluminosos. La llum, a partir de la publicació de les lleis de Maxwell, va ser considerada com a una ona electromagnètica, fet que semblava explicar la propagació d'aquesta, i que semblava reforçar la idea de l'èter.

Llavors, amb les lleis de Maxwell es podia calcular la velocitat de la llum en un medi determinat (v), a partir del coneixement de la permeabilitat elèctrica (ϵ) i magnètica (μ), responent a la següent fórmula:

$$v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$$

Responent a aquesta mateixa fórmula, al buit, la velocitat de la llum s'expressa amb la lletra c :

$$c = 2,9986 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Aquest valor també és vàlid a l'aire, ja que posseeix les mateixes constants elèctriques del buit.

2.4.-Trencament de la visió mecanicista: El naixement de la física moderna:

La física clàssica, en estar basada els principis del moviment establerts per Newton l'any 1687, estava dotada d'un caràcter altament mecànic, fet que va ser trencat definitivament amb la publicació de les lleis de Maxwell, ja que va suposar

l'existència d'un nou fet físic, fet que no podia ser explicat per termes de matèria i moviment, aquest fet era la radiació.

Segons les lleis de Maxwell, dita radiació havia de ser emesa quan s'accelerava un sistema compost per partícules elèctriques, aquesta emissió junt amb l'absorció d'energia, segons les mateixes lleis, havia de produir-se de manera contínua, en canvi, més endavant, a partir de diferents mètodes experimentals, es va demostrar tot el contrari, es va demostrar l'existència de la discontinuïtat de l'emissió i absorció de la llum, de manera que recordava a una espècie de paquets. Paradoxalment, si considerem cadascun d'aquests paquets com a una partícula, observem que la llum, en ser absorbida o emesa per la matèria, ho fa com si estés constituïda per partícules, fet inexplicable per la teoria de Maxwell.

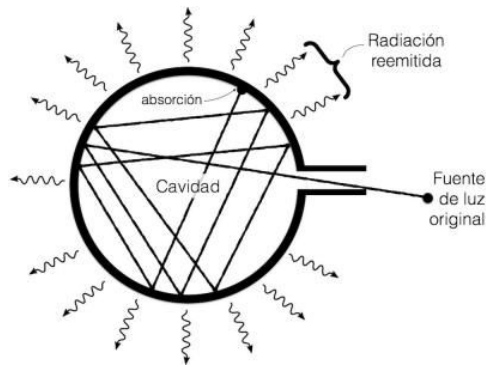
Aquest fet, més endavant seria conegut com a dualitat ona-còrpuscle, o dualitat ona-partícula, que juntament amb els avenços en l'estudi de la radioactivitat i amb l'aparició de la Teoria de la Relativitat, van donar lloc al gran avenç físic del segle XX, el qual va originar la física moderna.

Radiació del cos negre:

Per entendre aquest apartat, cal entendre que l'augment de la temperatura d'un cos fins a cert punt, provoca que l'espectre d'emissió del dit cos augmenti, pel que les ones emeses per aquest, posseiran una longitud d'ona més petita. A més, qualsevol cos absorbeix una certa part de la radiació imposada sobre aquest, i en reflecteix la part restant.

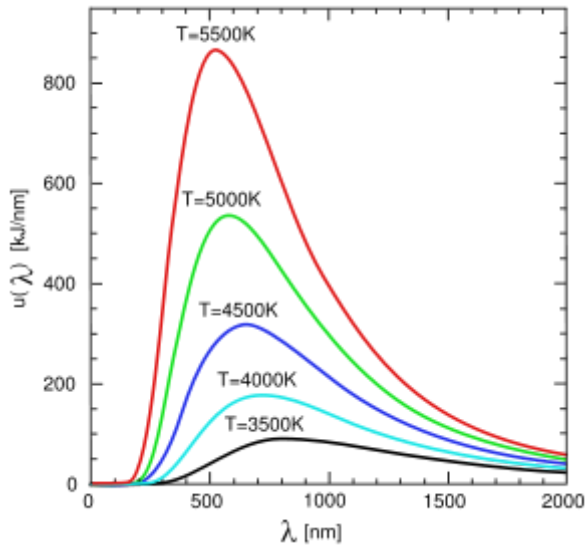
A principis del segle XX, les lleis de Maxwell havien creat un ingent interès en l'estudi de la radiació a tota la comunitat científica, pel que els científics van imposar, hipotèticament, l'existència d'un cos que absorbís tota la radiació que rebés, un cos ideal, el cos negre.

En la pràctica, dit cos és pràcticament existent, ja que, si fem una petita obertura a un cos que té les seves parets interiors recobertes de pols negra, dita obertura es comportarà com el cos anteriorment esmentat, ja que tota la radiació dirigida cap aquesta, seria absorbida, com a conseqüència de la reflexió d'aquesta a les seves parets interiors. Aquest cos s'aproxima molt a la condició de cos negre, però no ho arriba a ser, ja que tot i que la probabilitat que la dita radiació sigui expulsada novament per l'obertura és ínfima, un cert nombre de radiació acabarà sent expulsada del cos.



Imatge esquemàtica del cos negre experimental

Si estudiem l'espectre de radiació emès per un cos negre per a cada temperatura, representant dit fet en una gràfica que relacioni les energies irradiades pel cos i les longituds d'ona de les dites radiacions, obtenim les corbes experimentals corresponents a la radiació del cos negre:



Imatge que mostra les corbes de radiació d'un cos negre

Per tant, la radiació havia d'estar formada per ones d'una longitud d'ona molt curta, com per exemple de radiació ultraviolada, aquest fet va ser conegut com a catàstrofe de l'ultraviolat.

L'any 1900, el físic alemany Max Planck, va deduir les corbes anteriorment esmentades teòricament. Per fer-ho, va suposar que l'energia radiada per un cos era absorbida i emesa d'una manera discontinua, en forma de paquets, que aquest va anomenar quants. L'energia de cadascun d'aquests quants responia a l'equació següent

$$E = h\nu$$

on h és la constant de Planck i ν és la freqüència de radiació

Pel que l'energia completa de la radiació serà un múltiple de l'energia d'un únic quant.

La hipòtesi de Planck va fer retornar el model corpuscular de la llum, ja que cadascun dels quants que conformaven la llum podien ser considerats com a partícules, aquesta idea va ser recuperada uns anys més tard per Albert Einstein qui va utilitzar dita hipòtesi per demostrar teòricament l'efecte fotoelèctric.

L'efecte fotoelèctric

L'experiment de l'efecte fotoelèctric consistia en un tub de vidre o quars, en el que es va recrear el buit, a l'interior d'aquest tub, hi havia dos elèctrodes, un càtode i un ànode. Quan aquest experiment es va completar, es va crear un corrent elèctric, el qual va ser creat per un voltatge V , molt gran, com per arrencar els electrons i dirigir-los cap a l'ànode. Aquest escapament és provocat pel transport d'energia d'una ona electromagnètica per part dels electrons del metall incidit, amb aquesta energia els electrons s'escapen dels àtoms dels metalls, passant a ser anomenats fotoelectrons.

Aquest fenomen era inexplicable per a la física clàssica, ja que, a partir d'un estudi detallat d'aquest, es van poder establir les següents conclusions

- Quan s'augmenta la intensitat de radiació augmenta la intensitat del corrent elèctric
- L'emissió fotoelectrònica és gairebé instantània, encara que la intensitat de radiació sigui molt petita
- L'emissió fotoelectrònica per a un metall determinat només té lloc si la freqüència de la radiació incident és més gran que un cert valor anomenat freqüència llindar ν_0 .
- Per a una radiació d'intensitat determinada, la intensitat del corrent augmentava fins a una intensitat de saturació, si augmentem el valor de potencial.
- Quan fem disminuir el valor de potencial fins a un valor negatiu, l'emissió fotoelectrònica disminueix fins a un valor fix, a partir del que ja no pot disminuir.

A principis del segle XX, Einstein va ser el primer a donar una explicació lògica al dit efecte, raonant que la llum estava formada per partícules anomenades fotons, que viatjaven a una velocitat c i que constituïen tots els altres tipus de radiació electromagnètica.

Aquest justificava la creació de corrent elèctric a partir de la llum amb l'impacte dels fotons que formaven dita radiació amb els àtoms del metall, provocant l'escapament dels seus electrons.

L'energia necessària per arrencar els electrons de la xarxa cristal·lina del metall va ser anomenada treball d'extracció W_0

$$W_0 = hv_0$$

A partir d'aquests resultats, Einstein va crear l'equació de l'efecte fotoelèctric

$$hv = \frac{1}{2}mv^2 + hv_0$$

A més, es va concloure que la quantitat de moviment d'un fotó és

$$p = E/c = hv/c$$

Dualitat ona-corpúscle:

L'any 1923, el físic francès Louis De Broglie, va generalitzar la dualitat entre els caràcters corpuscular i ondulatori de la llum a totes les partícules elementals existents. Tot seguit, va imposar la següent equació:

$$\lambda = h/mv = h/p$$

A més a més, l'expressió donada per De Broglie permetia conèixer el moment lineal dels fotons:

$$\lambda = h/v \rightarrow p = E/c$$

Principi d'incertesa:

A la mecànica quàntica, existeix un terme conegut com a funció d'ona, que ens permet conèixer la probabilitat de trobar una partícula qualsevol en una determinada regió de l'espai. Aquest terme s'expressava amb el símbol ψ , i va ser introduït per Erwin Schrödinger l'any 1926, com a conseqüència del seu model atòmic, en el que parlava d'ones de probabilitat.

Un altre dels aspectes fonamentals de la física quàntica és el principi d'incertesa, aquest diu: és impossible mesurar amb exactitud la posició i la quantitat de moviment d'una determinada partícula:

$$\Delta x \Delta p \geq h/2\pi$$

on Δx és la incertesa en la posició i Δp és la incertesa en la quantitat de moviment.

2.5.-Teoria de la Relativitat:

Es va publicar com a conseqüència del desig de mesurar la velocitat de la terra respecte a l'èter, desig molt present a finals del segle XIX.

A partir dels resultats negatius de l'experiment de Michelson-Morley es va veure que no hi havia moviment relatiu entre el moviment de la Terra i l'èter luminífer. Per tant es va arribar a les següents conclusions:

- La llum recorre els espais amb la mateixa velocitat c , a la que no es poden aplicar les transformacions de Galileu
- L'èter mai va existir, era una hipòtesi errònia

Els postulats de la teoria de la relativitat restringida:

Einstein, a part de per la demostració de l'efecte fotoelèctric, va ser molt reconegut per la creació de la Teoria de la Relativitat.

Aquesta, es pot separar en dues subteories: la teoria de la relativitat restringida, que estudia sistemes amb moviments uniformes, i la teoria de la relativitat general, que inclou l'estudi dels sistemes amb moviments accelerats.

En aquesta teoria, Einstein refuta l'existència de l'èter, com a conseqüència dels resultats obtinguts per Michelson i Morley l'any 1887.

Els seus postulats eren:

-Principi d'equivalència: Les lleis de la física es verifiquen de manera idèntica en tots els sistemes inercials, sense que sigui possible deduir a través seu cap distinció entre un sistema inercial i un altre.

-Segon postulat: La velocitat de la llum és una constant universal, invariant per a tots els observadors inercials. Aquest postulat, desencadenava diverses conseqüències:

-Que la velocitat c sigui independent de la velocitat relativa de l'observador, contradiu definitivament les lleis de Newton, i com a conseqüència, també té altres influències en l'espai i el temps. Així, si s'accepta dit postulat, s'observa que el temps és dependent de les característiques del sistema, és a dir, el temps és relatiu. Aquesta expressió es pot matematitzar:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

A més a més, aquesta dilatació temporal es fa present a la nostra vida quotidiana, tot i que és pràcticament imperceptible, com a conseqüència de l'ínfima relació de v i c .

Les transformacions Einstein-Lorentz: Contracció de la longitud:

Quan la velocitat v és molt més petita que la velocitat de la llum, es duen a terme dos processos: el de dilatació temporal, anteriorment esmentat, i el de dilatació longitudinal; aquest últim sempre es durà a terme en la direcció del moviment.

La denominada contracció Lorentz respondrà a la següent fórmula:

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

on l és la longitud obtinguda, l_0 és la longitud impròpia i $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ és el factor de Lorentz

Equivalència entre massa i energia:

La teoria de la relativitat, esmenta el fet que la massa d'un cos no és la mateixa per a tots els observadors de diferents sistemes, i que augmentava a mesura que adquiria certa velocitat:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Així, s'expressa que cada massa existent a l'univers contenia una quantitat neta d'energia, responent a la següent expressió:

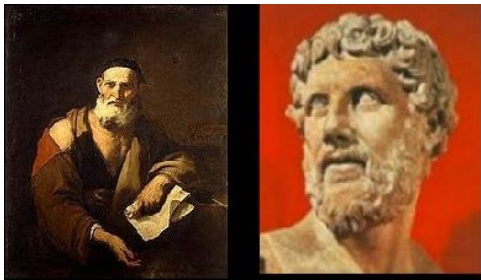
$$E = mc^2$$

Així, la combinació de la física quàntica i la teoria de la relativitat, juntament amb els estudis sobre el comportament de la radioactivitat, van conformar els pilars de la física actual, ajudant-nos a progressar més que mai al nostre coneixement sobre l'univers.

3.-ESTRUCTURA DE LA MATÈRIA:

3.1.-Àtoms:

La definició clàssica d'àtom és simplement una unitat indivisible, capaç de mantenir la seva identitat i estructura per qualsevol mitjà, pel que cap procés experimental seria capaç d'alterar dits aspectes, ademés, aquestes són partícules infinites i en constant moviment. Aquesta definició va ser establerta per primer cop per Leucip i Demòcrit d'Abdera, entre els anys 470 i 370 a.C.



Imatge que mostra a Leucip i Demòcrit d'Abdera, creadors de la definició d'àtom

Aquesta proposta va crear una gran revolució a tot el món físic i químic, creant l'inici de la física de partícules, i trencant amb la idea de la continuïtat de la matèria, molt present durant tota època anterior.

Tot i haver revolucionat tota la física i la química del moment únicament amb aquesta proposta, va ser ignorada completament fins a inicis del segle XIX, quan el químic britànic John Dalton la va recuperar, amb l'objectiu de crear una teoria que descrigués els àtoms, a més de teoritzar sobre l'estructura d'aquests.



Imatge que mostra a John Dalton, creador principal de la teoria atòmico-molecular

3.1.1.-Models atòmics:

A part de l'estructura atòmica deduida per Dalton al segle XIX, es van arribar a crear diferents tipus de models atòmics, que realitzaven evolucions estructurals a mesura que apareixien dits models.

3.1.1.1.-Model de Dalton:

Dit model va ser proposat per John Dalton l'any 1808, aquest tractava als àtoms com a boles macisses, com a simples unitats indivisibles i esfèriques, exactament iguals a tots els elements químics.

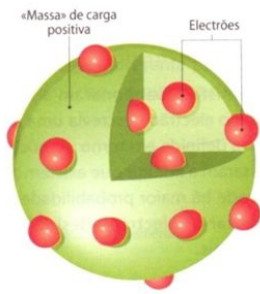


Imatge que mostra l'estructura esquemàtica de l'àtom segons el model atòmic de Dalton

3.1.1.2.-Model de Thomson:

Dit model va ser proposat pel físic J.J.Thomson l'any 1898, aquest proposava una estructura molt similar a la del model atòmic de Dalton, únicament afegint la idea dels electrons.

Per tant, el model atòmic de Thomson proposa que els àtoms estan formats majoritàriament per una gran massa positiva, amb diversos electrons inserits a l'interior de dita massa, de tal manera que les càrregues positiva i negativa de l'àtom quedaven anul·lades. Aquesta estructura era capaç d'explicar diferents fets, com la sortida d'electrons de l'àtom, explicada per la superficialitat dels electrons a la massa positiva majoritària.

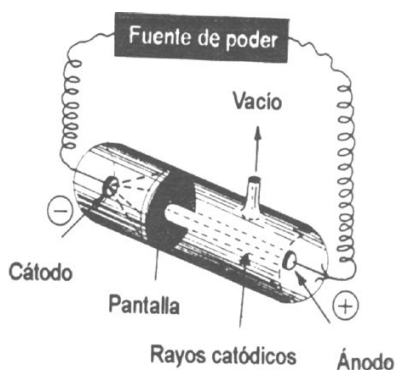


Imatge que mostra l'estructura esquemàtica de l'àtom proposada pel model atòmic de Thomson

Experiment de Thomson:

El model de Thomson, va ser establert a partir de la realització d'un experiment conegut com a "experiment dels raigs catòdics". Aquest va ser crucial per a confirmar l'existència d'una partícula de càrrega negativa (electró) a dins de l'àtom, i per tant, per a desmentir que els àtoms eren les unitats existents més petites.

L'experiment de Thomson estava basat en la utilització d'un tub on es va crear el buit, el qual contenia a cadascun dels seus extrems un càtode (placa carregada negativament connectada al corrent elèctric) i un ànode (placa carregada positivament que tanca el circuit), a part d'un gas a molt baixa pressió a tot el seu interior. Per últim, l'experiment consistia en l'addició d'un voltatge determinat al circuit establert, que, a l'arribar al valor de 5000 volts creava un feix de partícules elèctricament carregades, les quals viatjaven del càtode a l'ànode.



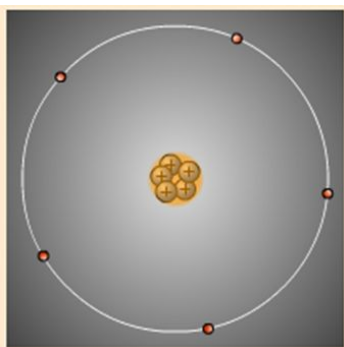
Acte seguit, Thomson va establir diferents modificacions a l'estructura primària de l'experiment; algunes d'aquestes modificacions van ser l'addició de plaques carregades als extrems superiors i inferiors del tub, la inserció d'una hèlix interna per observar el moviment hipotètic d'aquesta o el canvi d'element del càtode i de l'element gasós a baixa pressió a l'interior del tub.

A partir dels resultats obtinguts de l'experiment, i dels canvis establerts posteriorment en aquest es va definir per primera vegada a la història la naturalesa de l'electró, segons Thomson, aquest era massiu (l'hèlix interna del tub patia un moviment al patir l'impacte del feix), carregat elèctricament (el feix de raigs catòdics patia una desviació cap al pol positiu, pel que les partícules que conformaven els raigs tenien una càrrega negativa) i universal (era independent del material del càtode o del gas inserit a l'interior del tub).

3.1.1.3.-Model de Rutherford:

Dit model va ser proposat pel físic Ernest Rutherford l'any 1911, aquest model proposava una estructura totalment diferent a la proposada pels anteriors models atòmics, ja que en aquest nou model predominava el buit, a diferència dels models anteriors on predominava l'espai macís..

Per tant, el model atòmic de Rutherford proposa que els àtoms estan formats majoritàriament per espai buit, amb una massa positiva al centre, molt més petita que les anteriorment proposades, además, a la part superficial de l'àtom es troben electrons, girant al voltant de la massa positiva. Aquesta estructura era capaç d'explicar diferents fets, com el fet que diversos àtoms atrevesessin la làmina d'or de l'experiment realitzat, fet explicat pel buit predominant a dita estructura atòmica.

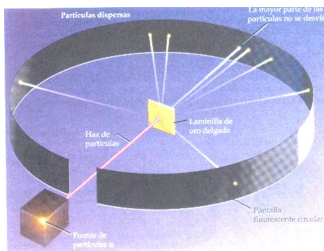


Experiment de Rutherford:

Aquest model va ser establert a partir de la realització d'un experiment conegut com a "experiment de Rutherford". Dit experiment va ser crucial per a confirmar la gran equivocació que els físics havien patit durant molt temps, la idea de pensar en l'àtom

clàssic com a una espècie de bola massissa, i no com a una estructura on predomina el buit, com realment és.

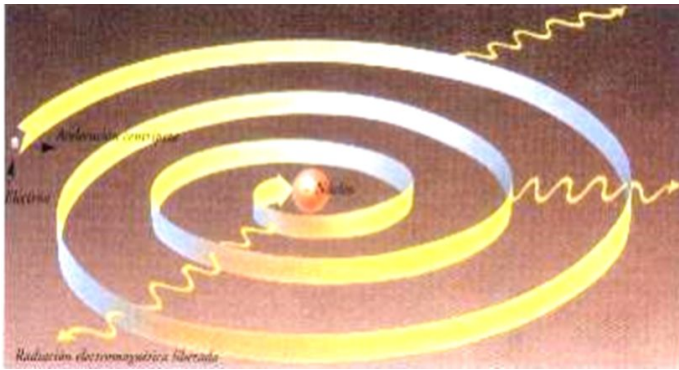
Estava basat en l'ús d'una font de radiació alfa amb una làmina d'or molt fina, quasi monoatòmica, que mostraria les diferents interaccions de les partícules alfa (nuclis d'àtoms d'heli) amb la làmina i les seves propietats; a més, al voltant del rang d'abast del feix va ser incerida una cinta fotogràfica, que posteriorment reculliria les partícules que haguessin impactat contra aquesta, fent possible així el càlcul de la seva desviació. Per últim, l'experiment va donar uns resultats inesperats per a Rutherford, ja que ell esperava que totes les partícules alfa del feix rebotessin a l'impactar amb la làmina d'or degut a la idea de macissitat que es tenia dels àtoms, gràcies als models presentats per Dalton i Thomson anys enrere.



En canvi, quan l'experiment va ser realitzat Rutherford va observar que les partícules alfa van dur a terme diferents interaccions, aquestes van ser:

- a) Interacció nul·la: Les partícules alfa van travessar la làmina sense patir cap alteració a la seva trajectòria original.
- b) Desviació notable: Tot i travessar la làmina d'or sense problemes les partícules alfa patien una desviació respecte la seva trajectòria original.
- c) Repulsió: Dites partícules no travessaven la làmina, duent a terme una espècie de rebot respecte la làmina).

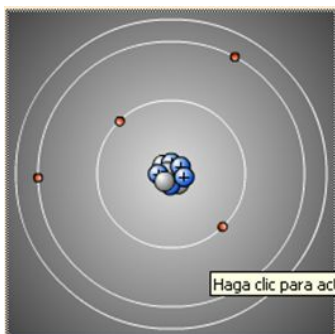
Un dels principals problemes presents en aquest model era la pèrdua hipotètica d'energia cinètica de l'electró proposada per un dels principis fonamentals del electromagnetisme clàssic: a l'existir energia elèctrica emesa per l'electró, provoca un decaïment constant de la seva òrbita, acabant impactant contra el nucli atòmic.



3.1.1.4.-Model de Bohr:

Va ser proposat pel físic Niels Bohr l'any 1913. Aquest model proposava una estructura molt similar a la de Rutherford, però, Bohr va afegir la idea de la quantització de l'energia dels àtoms, ja establerta pel físic Max Planck a l'any 1900, coneguda com a Teoria de quants.

Per tant, el model atòmic de Bohr, estableix uns certs nivells d'energia definits dins de l'àtom, limitant el moviment dels electrons al moviment realitzat en unes òrbites determinades que estan en un estat estacionari, és a dir, en un estat en el que els electrons no emeten energia, pel que la simple acceleració centrípeta que pateix pel moviment circular que duu a terme equilibra exactament l'atracció electrostàtica entre l'escorça i el nucli atòmic.



Indirectament, la proposta del nou model atòmic de Bohr va suposar molt més del que va semblar en dit moment, ja que Bohr va crear el primer model quàntic de l'estructura de l'àtom introduint al mateix temps el nombre quàntic n , el qual indicava el nivell energètic on es trobava l'electró.

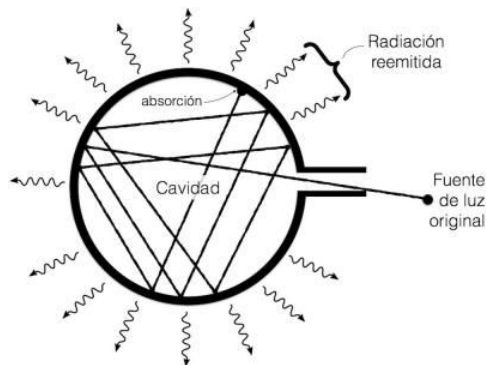
Tot i que l'esquema atòmic de Bohr va proporcionar explicació a diversos fets inexplicables pel moment, com per exemple l'explicació de l'espectre atòmic de

l'hidrogen, aquest contenia un gran nombre de buits explicatius, el més important va ser el fet de que dit model només era capaç d'explicar els espectres de l'hidrogen, i no el d'altres elements o àtoms més complexos. A més, Bohr va ser l'últim en tractar el gir d'electrons al voltant del nucli atòmic com a girs orbitals perfectes, ja que l'ús de la mecànica quàntica va fer-se ingent als següents models atòmics, com per exemple al model atòmic de Schrödinger.

Teoria de quants:

Va ser proposada pel físic alemany Max Planck, a l'any 1900. Aquesta teoria afirmava que qualsevol cos existent al microcosmos (electrons, molècules, àtoms...) absorbeix i emet llum de manera discontinua, és a dir, ho fa en diferents paquets d'energia anomenats quants.

Un dels altres fets proposats per la teoria de Planck era el concepte de cos negre. Aquest tractava d'un cos que absorbia tota la radiació que rebés, un cos ideal a l'hora d'estudiar les diferents radiacions existents, estudi molt potentat a finals del segle XIX i inicis del segle XX, com a conseqüència dels estudis de la llum com a radiació donats pel físic escocès James Clerk Maxwell a l'any 1873.



Imatge esquemàtica del cos negre experimental

A més, Planck va establir una nova equació, que era capaç de relacionar la quantitat d'energia d'un quant de llum amb la freqüència de la radiació. Aquesta equació era la següent, i és molt utilitzada en el model de Bohr, al igual que a tota la física quàntica avui en dia:

$$E = h\nu$$

on E és l'energia d'un quant de llum
h és la constant de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s.)
v és la freqüència de radiació

Per últim, Planck va establir que sempre que un cos absorbis o emetés energia, dita energia seria un múltiple del producte de la constant de Planck h i la freqüència de radiació ν . Per tant

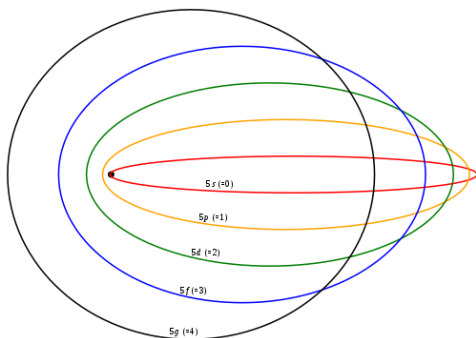
$\epsilon = nh\nu$ on ϵ és l'energia total emesa o absorbida pel cos

: n és un nombre natural

3.1.1.5.-Model de Sommerfeld:

Es tracta d'un model atòmic molt similar al proposat per Niels Bohr (el mestre de Sommerfeld) tres anys abans de ser publicat el nou model. En canvi, aquest model ja estableix diferents aspectes relacionats amb la física moderna, pel que es podria afirmar que aquest és una extrapolació relativista del model atòmic de Bohr.

El físic alemany Arnold Sommerfeld va establir dos canvis principals al model de Bohr; un va ser la reinterpretació de les òrbites perfectes proposades per Bohr, segons Sommerfeld dites òrbites eren en realitat òrbites quasi-el·líptiques, aquesta forma d'òrbita va derivar en la creació de subnivells energètics, creant un nou nombre quàntic, el nombre quàntic "l" o nombre quàntic azimutal. Va proposar que el nucli, al igual que els electrons, giraven al voltant del seu centre de masses, pel que s'igualaven les freqüències teòriques amb les calculades experimentalment. Per últim, Sommerfeld va proposar l'electró com a una corrent elèctrica mòvil, i no com a una partícula puntual.

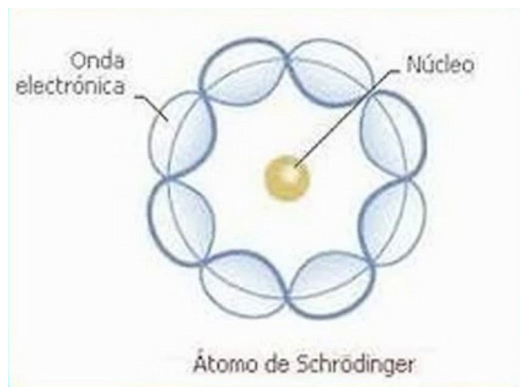


3.1.1.6.-Model de Schrödinger:

Va ser proposat pel físic austríac Erwin Schrödinger, i es tracta d'un model plenament mecano-quàntic, ja que veu l'electró com a una ona probabilística, no com a partícula puntual o com a una corrent elèctrica, com proposa el model de

Sommerfeld; per fer-ho, Schrödinger basa la visió de l'electró en un dels principis fonamentals de la mecànica quàntica, el principi de la dualitat ona-corpúscle proposat per Louis de Broglie l'any 1924.

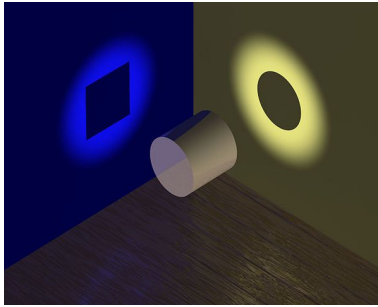
Per tant, l'electró ja no gira al voltant del nucli, ni del centre de masses de l'àtom, sinó que és una ona, que pot donar-nos la posició de l'electró en un estudi probabilístic; per dur a terme dit estudi, Schrödinger va proposar la seva famosa equació, que ens donava l'anomenada funció d'ona (ψ), una funció que mostrava la probabilitat de trobar l'electró en una determinada zona de l'espai, les zones espacials on ψ era més gran que el 90% eren anomenats orbitals.



Hipòtesi de Broglie (dualitat ona-corpúscle):

L'any 1905 el físic Albert Einstein va realitzar la demostració teòrica de l'efecte fotoelèctric proposat per Heinrich Hertz l'any 1890. Aquest, va proposar que la llum estava composta de partícules anomenades fotons, sense massa i molt veloços, una vegada aquests eran incerits al metall en qüestió, aquests eren absorbits pels electrons superficials del mateix, que aprofitaven l'energia absorbida per a sortir a l'exterior dels àtoms, i així, per la diferència de nombre dels electrons, crear un corrent elèctric.

Anys després, l'any 1924, el físic francès Louis de Broglie va generalitzar la dualitat de l'estat quàntic de la llum a qualsevol partícula existent, afirmant que el comportament d'aquestes variaria segons l'experiment realitzat, adoptant un comportament d'ona o de partícula.



Imatge que simbolitza la dualitat de les partícules quàntiques

3.2.-Partícules elementals:

Avui dia sabem que la definició de l'àtom és errònia, ja que l'àtom no és una unitat indivisible, sinó que pot ser divisible en diferents partícules que el conformen, tant la seva escorça com el seu nucli, aquestes partícules són anomenades partícules elementals, i són considerades, de moment, les unitats més petites existents a la nostra realitat.

3.3.-Introducció a la electrodinàmica quàntica:

L' electrodinàmica quàntica és la branca de la física moderna que estudia els fenòmens d'interacció entre partícules carregades elèctricament per mitjà de la interacció electromagnètica, interacció fonamental portada pel fotó.

3.3.1-Conceptes previs:

-Equació de Dirac:

$$\left(\alpha_0 mc^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j p_j c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$

Aquesta equació és una reinterpretació de la equació d'ones dictada per la mecànica quàntica; d'aquesta manera, introduint conceptes relativistes com la visió

de la funció d'ona com a un espinor (concepte matemàtic introduït per Pauli i Dirac que dicta el mateix vector de la longitud d'ona alterat per una rotació de 2π) o com l'ús de matrius a la mateixa equació.

-Moment magnètic:

El moment magnètic és la magnitud física que determina la força d'atracció d'un imàn realitzada sobre les corrents elèctriques, i el parell de forces que són exercides sobre aquestes.

3.3.2.-Context històric:

L'electrodinàmica quàntica va ser creada al segle XX, segle en el que es va denominar a dita branca com a "La joia de la física", ja que aquesta teoria era capaç, no només de proporcionar resultats molt precisos (fins amb vint decimals de precisió), sinó també proporcionar una justificació a fets inexplicables pels mètodes matemàtics del segle, per exemple el moment magnètic de l'electró i el muó, fet pel que l'equació de Dirac donava el doble del valor permès.

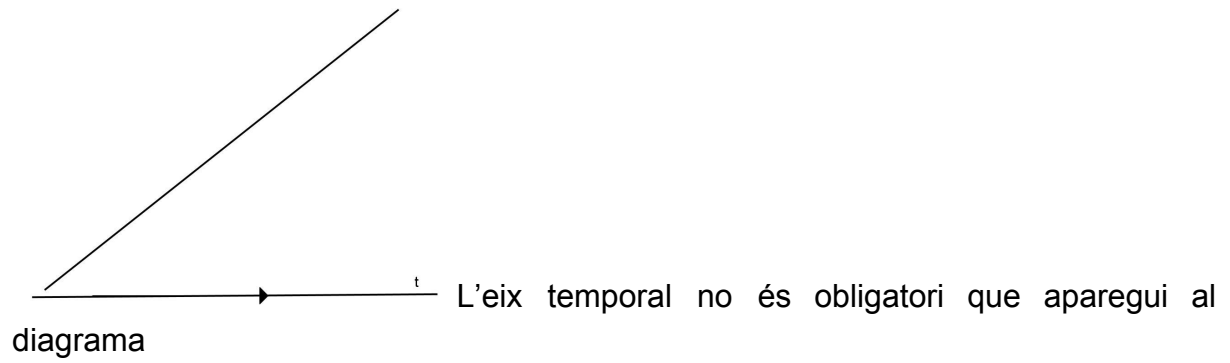
Els físics Tomonaga, Schwinger i Feynman van ser els seus principals desenvolupadors, tant és així, que a l'any 1965, van rebre el premi Nobel per la seva contribució en aquest camp.

3.3.3.-Diagrames de Feynman:

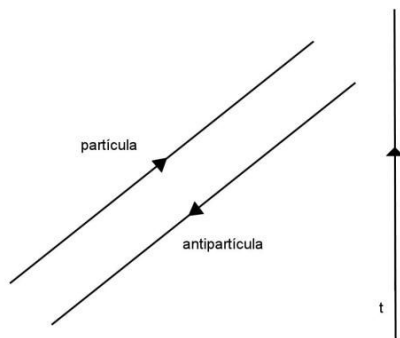
Degut a la gran complexitat matemàtica que aquest camp posseïa, basada en operadors de Schwinger i Tomonaga inicialment, el físic americà Richard Feynman va proposar una manera alternativa d'obtenir les diferents prediccions que aquesta teoria proporcionava, procediment basat en els seus famosos diagrames.

Elements dels diagrames:

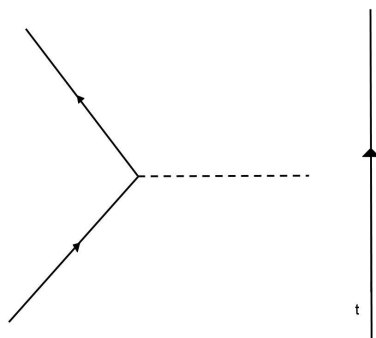
-Partícules inicials i finals: Representarem cadascuna de les partícules presents durant la interacció amb una línia recta.



-Partícules i antipartícules: Simbolitzarem les partícules amb una fletxa cap a la direcció de la interacció i les antipartícules amb una fletxa cap a la direcció contrària.

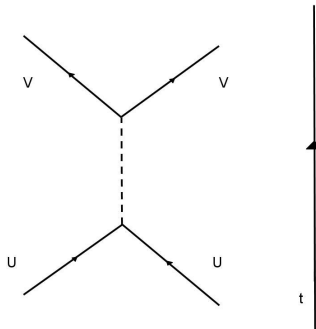


-Interacció entre les diferents partícules: Es simbolitzaran les diferents interaccions entre les diverses partícules amb línies partides o ondulades:

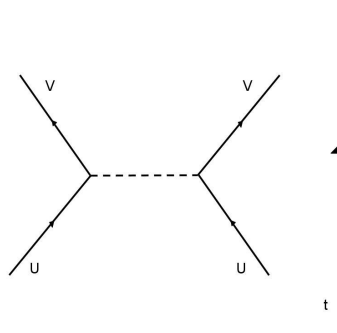


Exemples de diagrames:

Suposem una col·lisió de dues partícules U, a la col·lisió, s'emeta un missatger, que més endavant es desintegra en dues partícules V.



Ara, suposem una interacció entre les partícules U i V,obtenim:



3.4.-Introducció a la cromodinàmica quàntica:

La cromodinàmica quàntica és una teoria quàntica de camps, com l'electrodinàmica quàntica, però, en comptes d' estudiar les interaccions entre partícules amb la força electromagnètica com a intermediària, ho fa basant-se en la imposició de la força nuclear forta en dites interaccions. Dita força, és transmesa per un altre bosó de Gauge del Model Estandar, el gluó.

3.4.1.-Conceptes previs:

-Càrrega de color: Aquest, és un nombre quàntic propi dels quarks que deriva de la seva càrrega. Dit nombre quàntic també és propi dels gluons, i és capaç d'alterar la interacció de dos quarks per mitjà de la força nuclear forta, distribuïda pel mateix gluó. Per últim, aquesta magnitud dels quarks té una representació vectorial, però no una representació numèrica simple (magnitud vectorial).

-Vermell, verd i blau: El camp associat a la càrrega de color és representat com un camp de Gauge, dit camp ve descrit per un 3-tupla de nombres, que fan referència a les tres dimensions espacials del camp vectorial. Aquests colors, al combinar-se, formen un color blanc resultant, això provoca una neutralitat de la càrrega de color del grup de quarks. En canvi, els mesons, al ser parells quark-antiquark, suposant per exemple que es tractés d'un quark amb càrrega de color blava, la càrrega del quark primari es combinarà amb la càrrega de color antiblava del antiquark corresponent, conformant un color blanc final, pel que s'explica l'estabilitat de l'estructura resultant de la unió.

3.4.2.-Context històric:

A la dècada dels 70, els físics Politzer, Wilczek i Gross van proposar una nova teoria quàntica de camps, que al contrari que les altres, era capaç d'explicar la formació d'estructures d'associació de quark, com per exemple barions (combinacions de tres quarks (protons/neutrons)) i mesons (parells quark-antiquark (pions)). Aquesta proposta, va suposar l'entrega del Premi Nobel de Física l'any 2004 als físics anteriors.

3.4.3.-Característiques especials:

-Llibertat asimptòtica: La majoria de forces fonamentals de la natura es fan més fortes a mesura que les partícules s'apropen entre elles, no obstant, quan analitzem la força nuclear forta observem el contrari, aquesta força és molt dèbil quan les partícules són molt a prop i s'intensifica a mesura que s'allunyen.

-Conservació de la càrrega de color: El lagrangiana d'aquesta teoria posseeix una simetria $SU(3)_c$ a la part dependent dels camps leptònics. Això provoca l'existència

de magnituds associades a dita simetria, per la definició de Teorema de Noether, que afirma l'existència de lleis de conservació associades a qualsevol simetria diferencial. La magnitud associada és anomenada "color", però no té res a veure amb l'efecte visual, efecte donat per diferents longituds d'ona.

-Confinament de la càrrega de color: A diferència dels fotons, els gluons poden interaccionar entre ells, degut a la càrrega de color que posseeixen els diferents quarks que intervenen durant la interacció. Per tant, la força nuclear forta posseeix un abast molt petit, a diferència de la interacció electromagnètica, que posseeix un abast infinit.

3.4.4.-Matrius:

Les teories quàntiques de camps, sobretot la cromodinàmica quàntica, tenen una ampla base matemàtica, aquesta està basada, sobretot, en l'ús de matrius.

3.4.4.1.-Definició i tipus de matrius:

Una matriu és un conjunt de nombres reals amb una certa relació entre ells. Aquesta està formada per dos elements principals: les files i les columnes. Ademés, aquestes poden ser expresades pel seu ordre [(nombre de files, nombre de columnes)].

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Existeixen diferents tipus de matrius, aquests són els següents:

-Matriu quadrada: [nombre de files= nombre de columnes \longrightarrow Ordre n]

$$C = \begin{pmatrix} 1.3 & 20 & 12 \\ 1.8 & 28 & 15 \\ 2.5 & 40 & 18 \end{pmatrix}$$

-Matriu rectangular: [nombre de files \neq nombre de columnes \longrightarrow Ordre (m,n)]

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 0 & 2 \\ -2 & 1 & 4 & -1 \\ 3 & 0 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

-Matriu fila: [elements a una única fila \longrightarrow Ordre 1n]

$$\left(4 \quad -1 \quad 5 \quad 3 \quad \frac{2}{3} \right)$$

-Matriu columna: [elements a una única columna \longrightarrow Ordre n1]

$$A = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$$

-Matriu nul·la [tots els elements són nuls \longrightarrow Ordre (m,n)]

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

-Matriu oposada [elements obtinguts del canvi de signe d'una matriu primària \longrightarrow Ordre 1n]

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ -2 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \quad -A = \begin{bmatrix} -1 & -5 \\ 2 & -1 \\ -3 & 0 \end{bmatrix}$$

-Matriu transposada [elements obtinguts per l'intercanvi de files per columnes
 → Ordre (m,n)]

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 \\ 1 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 2 \\ 0 & 2 & 3 \\ 0 & 3 & 4 \\ 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 0 & 2 & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

3.5.-Model Estàndard:

El model estàndard de la física de partícules és una teoria relativista de camps quàntics que descriu l'estructura bàsica de la matèria i el buit, considerant les partícules com a cossos regits per quatre interaccions fonamentals, entre aquestes, no s'inclou la gravetat, ja que l'explicació donada per la relativitat general fa errar els càlculs de la teoria del model.

3.5.1.-Conflicte amb la interacció gravitatòria:

Com hem dit anteriorment, la gravetat és l'única força fonamental no incluída a la teoria del Model Estàndard. Avui en dia, no existeix una teoria confirmada que unifiqui la mecànica quàntica i la relativitat general, teoria que explica l'origen de la gravetat com a conseqüència de la curvatura del conjunt espai-temps davant un cos massiu.

Pel desig d'explicar l'origen de la gravetat i de les altres forces fonamentals en una única teoria del tot van sorgir diverses teories hipotètiques com a resposta a dites explicacions.

3.5.1.1.-Gravetat quàntica de bucles:

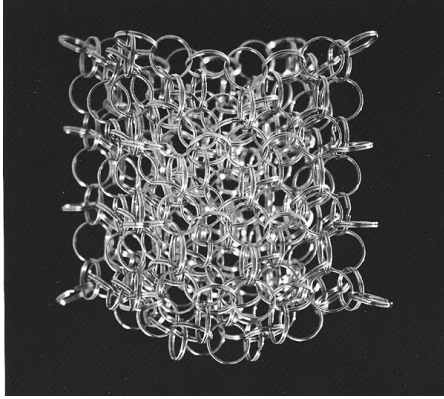
Aquesta teoria tracta l'espai com a una estructura filamentosa, una espècie de xarxa teixida amb llaços o bucles quantitzats en un nombre finit, aquesta estructura és anomenada "xarxa d'espín" o "spin network". En canvi, quan deixem d'observar l'espai com a aspecte independent i l'observem junt al temps, observem un canvi a la seva estructura, observant la formació de la denominada "espuma d'espín" o "spin foam". Per tant, l'espai-temps està format, a distàncies ínfimes, per una xarxa de llaços entreteixits a l'espuma esmentada anteriorment.

Segons la teoria, hauríem d'observar petits fragments indivisibles d'aproximadament 10^{-35} metres de diàmetre, això ens recorda una estructura atòmica, pel que la teoria imposa l'existència d'àtoms d'espai-temps.

Aquests àtoms formen una estructura complexa, estructura similar a la d'una malla que conté petits espais de separació, ínfims, i no observables per cap mitjà experimental. Per tant, aquesta teoria trenca amb la imatge de la continuïtat de l'espai-temps, i afirma que dit conjunt no és continu, però és molt similar, perquè els espais de separació entre les estructures primàries de la malla són quasi invisibles.

Això suposa una reinterpretació de l'espai-temps, una espècie de xarxa d'enllaços abstractes que connecten els diferents volums de l'espai.

Tot i no ser una teoria confirmada, és capaç de solucionar molts dels problemes que apareixen amb altres teories. Per exemple, aquesta teoria pot eliminar els infinits que apareixen als càlculs de la relativitat general a l'hora d'aplicar- ho al Big Bang. Segons la teoria, l'espai-temps, a l'estar format per àtoms, pateix una espècie d'analogia al Principi d'Exclusió de Pauli, pel que dits àtoms no podran ocupar el mateix estat quàntic, és a dir, no podran ocupar la mateixa regió de l'espai. Això suposa la imposició d'un límit de contracció de l'espai, pel que les singularitats aparents a la relativitat general queden eliminades.



Imatge que mostra la interpretació del conjunt l'espai-temps segons la teoria de la gravetat quàntica de bucles

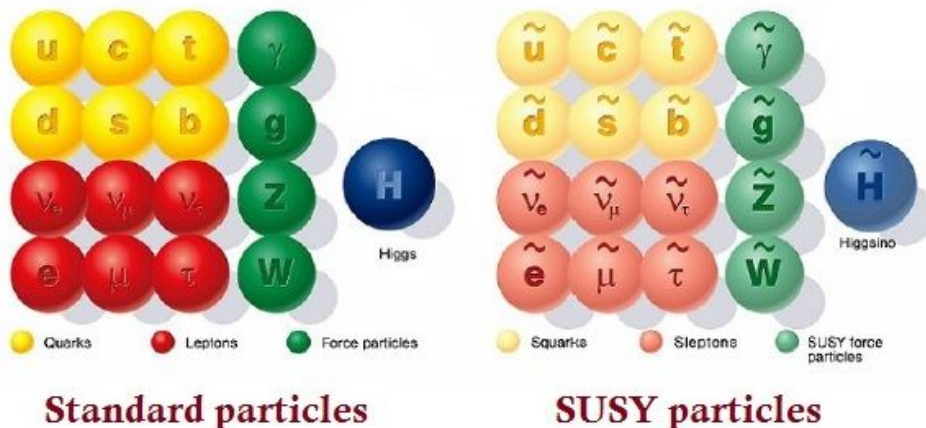
3.5.1.2.-Teoria de supercordes:

Tracta l'espai com a un conjunt de partícules superposades, interpretant dites partícules com a imatges resultants de vibracions d'estructures filamentoses anomenades cordes. Segons aquesta teoria, les partícules elementals que consideràvem com a les més petites que existien, estan formades per cordes, vibrant de diverses formes diferents.

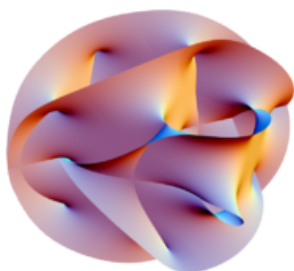
Un fet interessant que aquesta teoria prediu és la supersimetria. Prediu l'existència de més partícules al Model Estàndard, que són relacionades directament amb les partícules principals de dit model. Per tant, es prediu l'existència de "companys supersimètrics" de cadascuna de les partícules, aquests poden ser dividits en tres grups, al igual que les partícules primàries, aquests són els "sleptons", els "squarks" i els "fermions de Gauge".

Per tant, segons la teoria de supercordes la forma del Model Estàndard hauria de ser la següent:

SUPERSYMMETRY



Aquesta teoria prediu l'existència de 6 dimensions extra, disposades de forma "arreglada" en cadascun dels punts de l'espai, aquestes dimensions són necessàries pel fet de no trencar-se la supersimetria del Model Estàndard. L'espai deixa de representar-se com a un continu, com a una xarxa, i passa a interpretar-se com un conjunt de diverses dimensions superposades, tot i només poder observar 4 dimensions al nostre món, tres dimensions espacials i una temporal.



Esquema de la superposició de les dimensions extra previstes per la teoria de supercordes

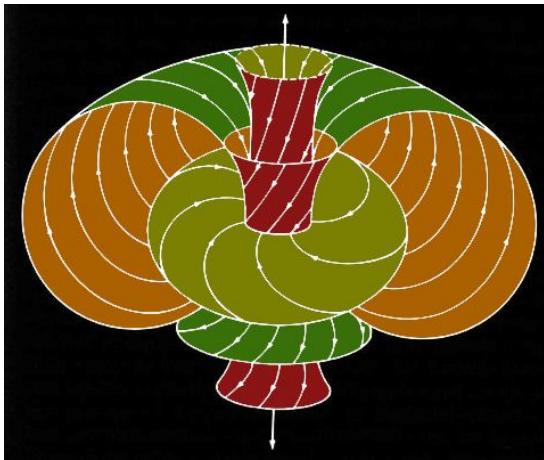
3.5.1.3.- Teoria de twistors:

Va ser proposada per l'astrofísic Roger Penrose a l'any 1967. Aquesta teoria és purament matemàtica, i té com a objectiu descriure els objectes geomètrics de l'espai-temps tetradimensional com a objectes geomètrics de l'espai complex tetradimensional com a representació puntual (n,n) . Per tant, els objectes geomètrics poden ser expressats com a punts amb unes determinades coordenades a l'espai-temps, dites coordenades són anomenades "twistors".

Aquesta teoria resulta idònia per a resoldre les equacions del moviment dels camps sense massa d'espín arbitrari.

També, existeixen diferents fets descrits a les diverses teories quàntiques de la gravetat que són desafiats per la teoria de twistors; el més rellevant a l'hora d'estudiar la interacció gravitatòria és les fluctuacions quàntiques del continu espai-temps, dit fet és confirmat per la gravetat quàntica, pel que es respecta el concepte de "causalitat", en canvi, la teoria de twistors les nega, interpretant les diverses seqüències causals com a seqüències primàries impertorbables, que són incapaces de fluctuar. No obstant, els conceptes de lloc i temps sí fluctuen a dita teoria.

Avui en dia dita teoria no és considerada una opció per a unir la interacció gravitatòria amb les altres interaccions fonamentals, ja que, no només trenca amb la idea clàssica d'un conjunt espai-temps causable, sinó que disposen de diferents factors hipotètics no observables a la realitat, com la predicció d'una deformació notable de l'espai a l'interaccionar amb qualsevol bosó, pel simple fet de ser portadors de deformacions pròpies, tractant-se aquestes dels mateixos twistors que conformaven dits bosons.

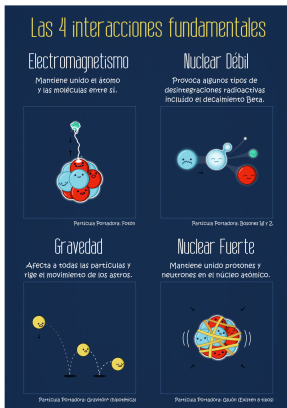


Interpretació d'un raig de llum, conformat per diferents fotons segons la teoria de Roger Penrose

3.5.2.-Insuficiències del model:

-Problema del nombre de constants físiques fonamentals: Aquest model conté 19 paràmetres en forma de constants, que són adaptats adequadament amb l'objectiu d'ajustar les prediccions.

-Les interaccions fonamentals del model poden ser interpretades com a simetries:
 Tot i haver avançat molt en l'anàlisi de les interaccions fonamentals, encara no s'ha descobert per què aquestes poden ser interpretades com a simetries de diversos grups.



Imatge que mostra els diferents tipus d'interaccions fonamental

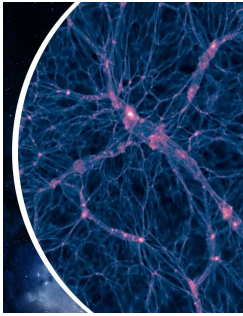
-Les tres generacions de quarks i leptons: A l'hora de formular el Model Estàndard s'obtenen diferents tipus de quarks, els quals poden ser dividits en tres columnes, conegudes com a tres generacions de quarks o tres generacions de la matèria.

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
nombre →	u up	c charm	t top
Quarks	6 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ V _e electron neutrino	<0.19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ V _μ muon neutrino	<18.2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ V _T tau neutrino
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	106 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.78 GeV -1 $\frac{1}{2}$ T tau
Leptones			

-La insuficiència de càrrega fraccionària a la formació d'hadrons: Per exemple, en la formació de barions, únicament per la seva composició, haurien d'obtenir una càrrega resultant fraccionària ($p^+ \Rightarrow +1/n^0 \Rightarrow 0$).

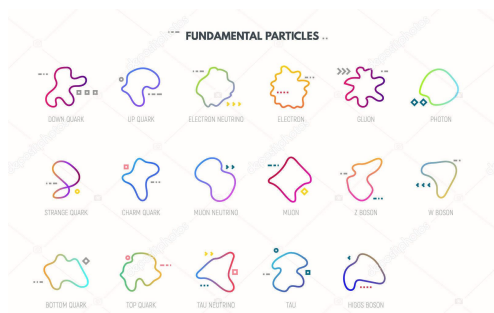
-Matèria fosca i energia fosca: Degut al seu descobriment més recent la matèria i energia fosca és considerada un misteri en molts dels seus aspectes, inexplicables davant el Model Estàndard.



Representació gràfica de la matèria fosca

3.5.3.-Extensions del model:

El Model Estàndard té com a objectiu ajudar als físics a incorporar la gravetat al nombre d'interaccions explicades per una única teoria del tot; per tant, de dit model sorgeixen les dues grans teories quàntiques de la gravetat: la teoria de cordes i la teoria de la gravetat quàntica de bucles.

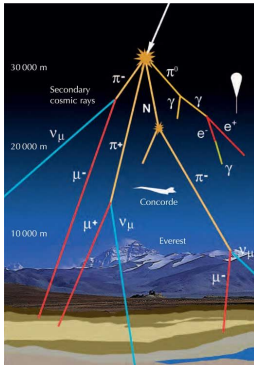


Imatge que mostra la relació directa entre la teoria de cordes i les diferents partícules incloses al Model Estàndard

3.5.4.-Muons:

Els muons són d'especial rellevança en aquest treball, ja que són una de les partícules elementals que conformen la radiació de fons, que esmentarem més endavant.

Podem definir els muons com partícules elementals que posseeixen una massa comparable a la massa de l'electró (és aproximadament 200 vegades més gran), amb espín $\frac{1}{2}$, amb càrrega elèctrica negativa i amb una naturalesa molt inestable, sent el seu temps de vida d'aproximadament 2'2 microsegons (μs).

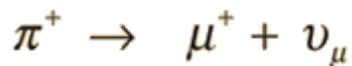


Imatge que mostra l'evolució que els raigs còsmics pateixen una vegada creuen l'atmosfera

3.5.4.1.-Origen físic:

Els muons són originats per diferents processos físics; el més habitual és la creació d'aquestes partícules a causa de la desintegració dels pions, que són un tipus de partícules creades per la combinació d'un quark i un antiquark pertanyents a la primera generació de la matèria, combinacions conegudes com a "mesons"; existeixen tres tipus de pions, que es diferencien per la seva composició, aquests poden ser π^+ (creat per un quark "up" i un "antidown"), π^0 (composat d'una partícula i la seva mateixa antipartícula) o π^- (composat per un quark "down" i un "antiup").

A la desintegració de pions, aquests solen dividir-se en un muó i un neutrí; a continuació es mostren algunes de les desintegracions possibles de pions:



Imatge que mostra la desintegració d'un pió de tipus π^+ que dona lloc a un antimuó i un neutrí muònic

3.5.4.2.-Alguns postulats de la Teoria de la Relativitat

Els muons van ser molt importants per confirmar, una vegada més alguns dels postulats imposats per la Teoria de la Relativitat. En aquest apartat explicarem aquests postulats, sense entrar en detall en la relació d'aquests amb els muons.

Els postulats que explicarem són els següents:

-Dil·latació temporal: Aquest fet és explicat per la introducció de que la velocitat c és una constant, independentment del sentit de propagació i de la velocitat que porti un observador. Aquest fet explica que el temps dependrà de les característiques de la situació en el que aquest sigui mesurat, responent a la següent fórmula matemàtica:

$$t = t' \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

-Contracció Lorentz: Quan la velocitat v és molt més petita que la velocitat de la llum, es duu a terme la dil·latació longitudinal; aquesta sempre es durà a terme en la direcció del moviment.

La denomida contracció Lorentz respòn a la següent fórmula matemàtica:

$$l = l_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3.5.4.3.-Importància dels muons respecte la Teoria de la Relativitat:

L'any 1963 els físics David Frisch i James Smith van fer un experiment amb l'objectiu de mesurar el nombre de muons que arribaven a la Terra per cada unitat de temps. Per fer-ho, van realitzar dues mesures: una al cim de la muntanya Washington (on van calcular un nombre estimat de 568 muons per hora) i una altra a nivell del mar (on van obtenir una quantitat de 412 muons per hora), aquesta última mesura va oferir un resultat inesperat, ja que, tenint en compte el curt temps de vida que posseeixen els muons aquests haurien d'haver-se desintegrat molt abans d'arribar al nivell del mar, pel que haurien d'haver obtingut una quantitat aproximada de 27 muons per hora.

No obstant, aquest fet podia ser explicat mitjançant l'ús d'alguns postulats de la Relativitat Especial; aquests són els esmentats a l'apartat anterior:


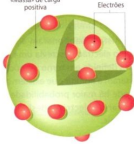
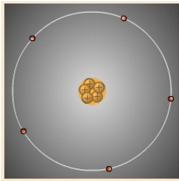
-Dil·latació temporal: Tenint en compte que la velocitat d'un muó és molt pròxima a la velocitat de la llum c , el seu temps de vida original ($2.2 \mu\text{s}$) seria incrementat a aproximadament a un valor de $30 \mu\text{s}$, pel que els muons serien capaços de recórrer una distància aproximada de 9 Km.



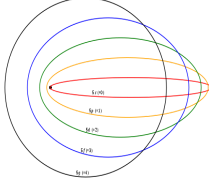

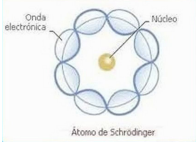

-Contracció Lorentz: Si considerèssim que els muons són un sistema immòbil (considerant així que fos l'atmosfera la que es mogués a una velocitat propera a la de la llum) la longitud de l'atmosfera original seria reduïda, de 9 Km a 600 m, fent possible així que els muons arribessin al nivell del mar.

3.6.-Recerca experimental sobre l'estructura bàsica de la matèria:

3.6.1.-Recerca atòmica:

Tot i no estar present avui dia, la recerca experimental per a conèixer l'estructura atòmica va ser primordial per donar origen al nou mètode de recerca actual. Tots els models atòmics establerts exceptuant el model proposat per Dalton (basat en la observació empírica), Bohr (basat en la teoria de quants de Planck), Sommerfeld i Schrödinger (basats en els principis de la mecànica quàntica), tenien diferents mètodes experimentals:

MODEL	ESQUEMA	EXPERIMENT
Model de Dalton		
Model de Thomson		Experiment dels raigs catòdics
Model de Rutherford		Experiment de la làmina d'or

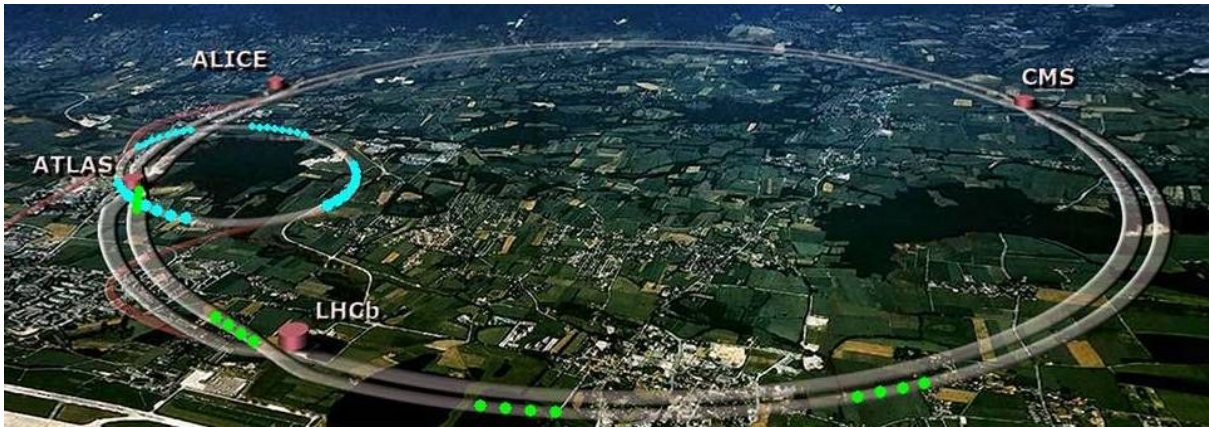
Model de Bohr		
Model de Sommerfeld		
Model de Schrödinger		

3.6.2.-Recerca fonamental:

Avui dia, la recerca en les diferents branques de la física es basen en la detecció de partícules; per realitzar dita recerca, els diferents mètodes experimentals es basen en l'ús de diferents estris o instruments, que permeten una obtenció dels diferents resultats amb una facilitat aparent. L'estri principal utilitzat per a dur a terme la detecció són els acceleradors de partícules.

3.6.2.1.-Acceleradors de partícules:

Els acceleradors de partícules són mecanismes basats en l'ús de camps electromagnètics, amb l'objectiu de crear moviment en les partícules carregades elèctricament, i, així, fer-les colisionar amb altres del mateix o diferent tipus. A més, durant l'impacte es creen noves partícules que, degut a la seva gran inestabilitat, tenen un temps de vida molt reduït, de mil·lèsimes de segon.



Imatge que mostra les instal·lacions del CERN, amb els seus respectius components

Components bàsics:

-Blancs:

Aquestes són les zones d'impacte entre les partícules primàries, i on es creen les partícules secundàries resultants.

En aquests es poden diferenciar dos tipus diferents de blancs:

-Fixes: En aquests, s'engloben els blancs que comporten les col·lisions entre una partícula mòvil i una fixa o sense cap tipus de moviment. Un exemple molt clar és el funcionament de diferents aparells de raigs X.

-Mòvils: Aquests blancs comporten l'impacte entre dues partícules mòvils. Aquests es troben en tot tipus d'acceleradors, on aquest fet provoca la duplicació de l'energia resultant de dit procés experimental.

-Detectors:

Les partícules creades de l'impacte contra el blanc són captades per mitjà dels detectors. Uns exemples molt clars de detectors són el CMS i l'ATLAS, creats i utilitzats a Suïssa, a les grans instal·lacions del CERN, més concretament al col·lisionador de partícules anomenat Large Hadron Collider (LHC).

-Dipol elèctric:

Aquest sistema està basat en la creació d'una diferència de potencial elèctric, creant un camp elèctric, que és expressat per una nomenclatura vectorial; aquest camp s'estableix entre dos tubs o plaques, creant una acceleració considerable en el moviment inicial de la partícula.

-Dipols magnètics:

Aquests creen un camp magnètic vectorial, generalment per l'ús de bobines; aquest camp es crea de manera perpendicular al moviment de la partícula inicial, creant una certa curvatura en el mateix moviment.

-Multipols magnètics:

La seva funció és molt important, ja que aquests multipols eviten la pèrdua de partícules del feix, és a dir, provoquen un enfoc del mateix feix a l'hora d'impactar contra el blanc. L'acció dels multipols magnètics sobre els diferents feixos de partícules comporta una millora en l'acció dels camps que actuen sobre aquests, provocant una acció més eficient.

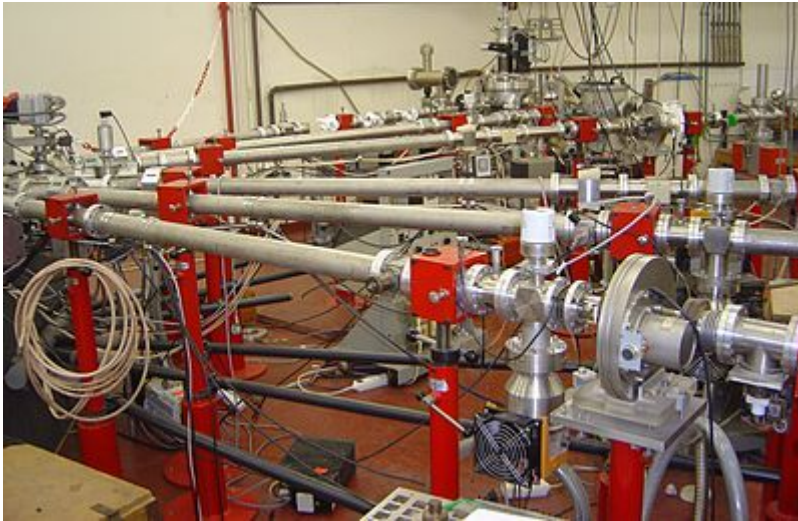
Tipus d'acceleradors:

Segons l'energia emesa i absorbida en el procés d'experimentació els acceleradors de partícules poden ser dividits en dos tipus, a la vegada que en diferents subtipus.

Acceleradors d'altres energies:

-Acceleradors lineals: Aquests utilitzen un conjunt de plaques o tubs situats en línia als que se'ls hi aplica un camp elèctric altern. Aquestes plaques provoquen una acceleració de les partícules pròximes cap a la mateixa placa, això és degut a la creació d'una polaritat oposada a la de la partícula. Una vegada la partícula travessa la placa de polaritat, dita polaritat és invertida, provocant una acceleració molt major cap al sentit contrari.

Normalment, s'acceleren partícules components de feixos, i no partícules individuals. Per tant, s'aplica un potencial altern a cadascuna de les plaques, corrent controlat de manera que es repeteix amb cada emissió de feixos.



Acceleradors de Van Graaf, instal·lacions de París, França

-Acceleradors circulars: En aquests acceleradors es combinen l'ús de camps elèctrics, utilitzats també als acceleradors lineals, i camps magnètics; aquesta combinació de camps provoca un gran augment a l'acceleració provocada a dit accelerador, provocant-la en un espai molt més reduït.

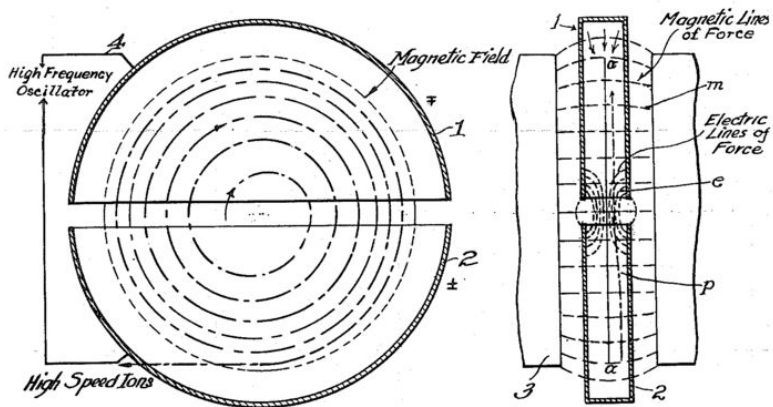
No obstant, existeix un límit energètic que les partícules poden obtenir, això és degut a la radiació sincrotró, emessa cada vegada que les partícules elèctricament carregades són accelerades; además, aquesta emissió de radiació sincrotró provoca una pèrdua considerable d'energia a l'accelerador, que augmenta amb l'augment de l'acceleració de les partícules principals. A més, existeixen acceleradors que aprofiten la radiació sincrotró com a font de radiació X d'alta energia, per dur a terme l'estudi de diferents productes, biològics, per exemple.

Ciclotró:

En aquests acceleradors les partícules es disposen en un espai intermig entre dos imans, en forma de D. Cada parell d'imans formen un dipol magnètic, amb una certa diferència de potencial, creant així una acceleració notable a la partícula en qüestió.

Les velocitats a les que arriben les partícules inserides als ciclotrons són velocitats relativistes, és a dir, velocitats que són molt pròximes a la velocitat de la llum c . Per tant, les velocitats de les partícules que viatgen pel ciclotró són esmentades en electronvolts, és a dir, en unitats d'energia.

els ciclotrons tenen un límit d'energies de l'ordre de MeV; en canvi, si volem aconseguir energies superiors (de l'ordre de GeV) serà necessari l'ús del següent tipus d'acceleradors: el sincrotró.



Imatge que mostra l'estructura esquemàtica del ciclotró

Sincrotró:

Com hem dit anteriorment, el sincrotró és capaç de generar energies més altes a partir de les partícules generades. A més, en aquests mecanismes observem una configuració de camps electromagnètics molt més complexa, incloent configuracions de quadropols, sextupols i majors.

No obstant, tot i la construcció de deïtes acceleradors suposar una gran inversió a l'àmbit industrial, a diferència dels acceleradors lineals i els ciclotrons, aquests només poden augmentar el nivell energètic de les partícules que viatgen al seu interior augmentant el seu tamany, suposant així un nivell energètic dependent del perímetre de la circumferència del sincrotró, tot i no tractar-se d'una circumferència perfecta.

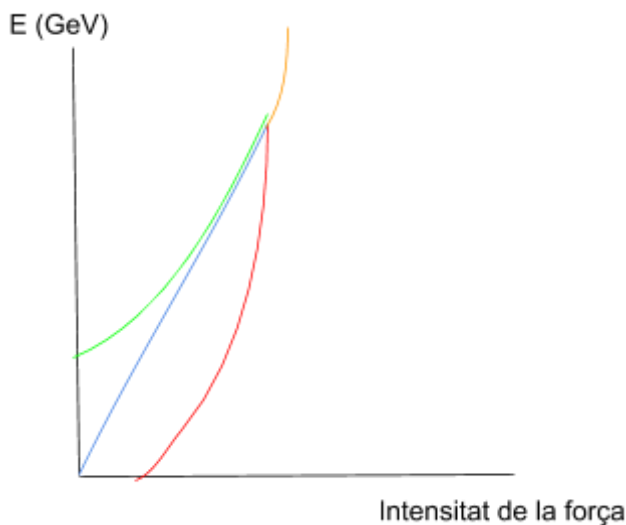


Imatge de les instal·lacions de Fermilab (Chicago)

Acceleradors de majors energies:

Avui dia existeixen diferents projectes, com el Col·lisionador Lineal Internacional, que poden arribar a crear molta més energia que els sincrotrons actuals. Per exemple, en el projecte anteriorment esmentat s'espera una energia de col·lisió inicial de 500 GeV, i una energia de col·lisió màxima de 1 TeV (1000 GeV).

Aquests acceleradors podrien arribar a confirmar diferents teories actuals, com per exemple la teoria de supercordes, la qual prediu 5 dimensions arreplegades que únicament es manifesten a molt altes energies, i la Teoria de la Gran Unificació, que prediu que les quatre interaccions fonamentals són una única interacció, la qual es manifesta a altes energies.



Imatge que mostra el comportament de les interaccions amb la diferent varietat d'energies

4.-PART PRÀCTICA:

4.1.-Visita a la Universitat de Barcelona:

El passat dijous 5 d'abril de l'any 2018 els quatre components del treball de recerca sobre física de partícules amb col·laboració del CERN vam realitzar una visita al departament de física aplicada, més concretament al laboratori de física moderna de la mateixa universitat.

Durant la sessió d'experimentació els quatre components vam contar amb la presència de diversos professionals, que van ajudar-nos a entendre amb més claredat els diferents processos experimentals realitzats; Les persones que ens van ajudar i assessorar van ser el doctor Rafael Ballabriga, actual enginyer electrònic al CERN, i altres professionals de l'Universitat de Barcelona, en particular el doctor en física Eugeni Graugés Pous, el doctor en electrònica Sergio Gómez Fernández i l'estudiant de doctorat en física David Sánchez Gonzalo.

L'objectiu d'aquesta visita va ser, principalment, realitzar diferents tipus de processos experimentals relacionats temàticament amb la física de partícules i basats en la utilització d'una màquina de raigs X. Aquesta sessió va ser complementada amb diverses explicacions, realitzades per l'enginyer electrònic Rafael Billabriga, qui ens va ajudar a assolir un altre dels nostres majors objectius, l'aprenentatge de física moderna a partir de l'experimentació.



Imatge que mostra el sensor intern de la màquina de raigs X

El funcionament d'un tub de raigs X està basat principalment en:

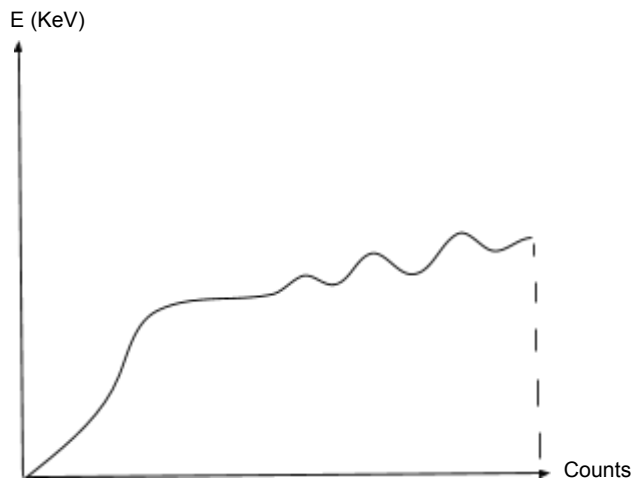
-Un filament, pel qual passarà el corrent introduït per nosaltres, aquest corrent serà un mil·liampere (en aquest cas).

-Acte seguit, com a conseqüència dels electrons emesos per el corrent elèctric i la presència d'un camp elèctric notable, aquests adquireixen una acceleració determinada.

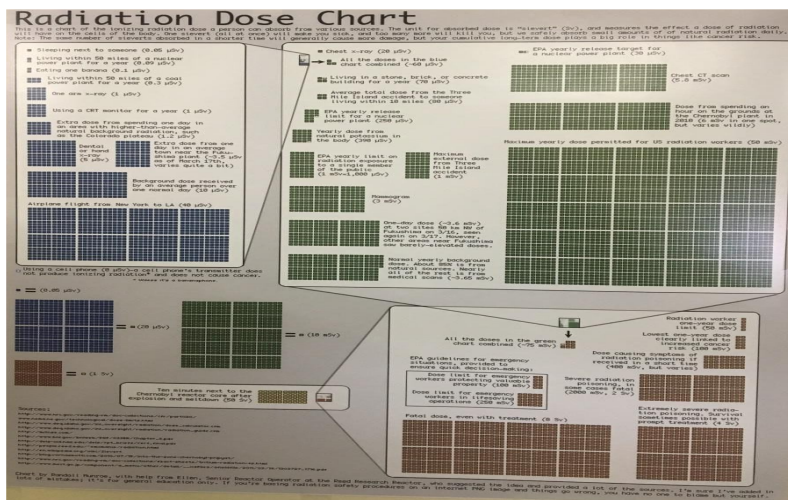
-Finalment, fruit d'aquesta acceleració sorgeix un impacte, produït pels electrons emesos anteriorment; aquest impacte forma fotons de frenada i fotons de fluorescència.

-Per últim, aquests fotons seran enviats a l'objecte en qüestió, i captats finalment pel detector intern.

A més, també va poder ensenyar-nos el funcionament del sensor intern cobert per una capa d'alumini. Per fer-ho, va procedir a realitzar una gràfica de l'energia captada (mesurada en KeV) en funció de la derivada dels counts mesurats. Aquesta va ser la següent:



A més, la radiació rebuda pels diferents instruments experimentals o per qualsevol altre cos dependrà de la situació d'anàlisi en la que es dui a terme dit procés experimental. Aquest fet és mostrat a la taula següent:



Durant el procés d'experimentació es va dur a terme un anàlisi estructural intern de cadascun dels diferents objectes seleccionats per nosaltres anteriorment. Alguns d'aquests objectes van ser els següents:

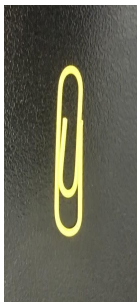
-Formiga: Degut a que aquesta era de dimensions realment ínfimes, al observar la pantalla que indicava el resultat de la detecció no vam poder observar una diferència notable a ull nuu. Això va ser degut a la facilitat dels raigs X per traspasar la ínfima massa present durant l'anàlisi, a més, l'energia transmesa per aquests va ser considerablement reduïda, fins a una energia de 10 kV de valor.

-SD Card: Al analitzar aquest objecte, al disposar d'una massa més ingent, vam poder observar clarament i amb tot detall l'estructura interna de dit objecte, el qual estava constituït per diversos circuits.



Imatge que mostra la SD Card, utilitzada durant el procés d' experimentació de la pràctica

-Clip: L'anàlisi d'aquest objecte, el qual disposava d'un ingent recobriment de plàstic, ens va permetre observar amb molta nitidesa les dues capes que aquest posseïa.



Imatge que mostra el clip, utilitzat durant el procés d' experimentació de la pràctica

-Tros de fusta: Aquest objecte, al disposar d'un relleu irregular, tot i no observable a ull nuu; va permetre'ns observar definidament la seva estructura externa.

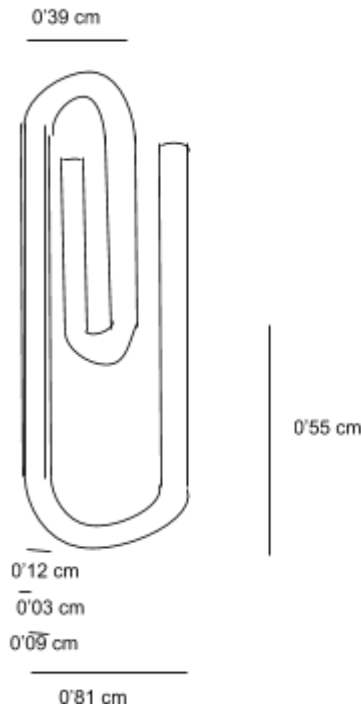


Imatge que mostra el tros de fusta, utilitzat durant el procés d' experimentació de la pràctica

A més, cadascun d'aquests objectes va ser analitzat per cadascun dels membres dels treballs col·laboratius. En el meu cas, se'm va encarregar l'anàlisi de les

dimensions del clip, incloent la recobertura plàstica interna i l'estructura metàl·lica interna del clip; a més d'una recerca sobre l'ús dels raigs X a la indústria.

4.1.1.-Dimensions deduïdes de l'experiment:



4.1.2.-Aplicacions dels raigs X a la indústria:

Des de fa anys, l'ús de raigs X és molt abundant en diferents aspectes de la indústria, ja sigui en aspectes mèdics o bé a la indústria alimentària, principalment. Els principals usos industrials d'aquests són els següents:

-Augment de la seguretat: A alguns aeroports, els raigs X són utilitzats com a mètode de revisió d'armes i utensilis perillosos, fent passar als diferents passatgers i als seus equipatges per un escàner, el qual mostra el contingut intern d'aquests.

-Genètica d'acció: A aquest ús s'utilitza la cristallografia de raigs X; aquest, va ser definit per primer cop per físics de la Universitat de Pensilvania, que van aconseguir observar, a partir de l'ús de raigs X, cadascun dels processos succeïts dins una cèl·lula.

: Els telescopis de raigs X permeten observar factors no observables a ull nuu, ni amb cap altre tipus de telescopi. Un exemple que mostra la importància d'aquests, és el fet de que un grup d'investigadors, a partir d'un telescopi de raigs X, fossin capaços d'observar un conjunt de gas intergalàctic, situat a 400 milions d'anys llum de la Terra.

-Tomografia computacionada: També denominada escàner, és utilitzada per realitzar diagnòstics mèdics, dit procés està basat en l'ús de raigs X, a partir dels que es poden observar els diferents òrgans interns de l'organisme humà.

-Cuidat del medi ambient: A partir d'un procés determinat, basat en l'anàlisi espectroscòpic dels raigs X, podem arribar a conèixer les diferents quantitats de contaminació que contenen la terra i l'aire.

-Protecció militar: Es tracta d'un casc que permet als diferents soldats veure a través de les parets, ja siguin d'un avió o de diferents habitacles.

-Paleontologia: Un exemple, es troba a les instal·lacions del sincrotró de Grenoble, a França. Allà, un grup de paleontòlegs aprofiten els raigs X emesos per aquest per poder veure a través de peces d'àmbar, les quals contenen diferents tipus de fòssils.



Imatge que mostra l'escaner utilitzat a la tomografia computacionada, un dels usos més freqüents dels raigs X a la indústria

4.1.3.-Barcelona Techno Week:

El 5 de juliol de l'any passat jo i dos companys més vam realitzar una exposició explicativa dels nostres respectius treballs de recerca, els quals mantien una certa relació de contingut teòric i pràctic. Aquesta exposició va ser organitzada pel nostre centre escolar i per l'Institut de Ciències del Cosmos de la Universitat de Barcelona, i va ser realitzada a la facultat de física d'aquesta universitat.

L'exposició es va realitzar per a alumnes que ja finalitzaven el curs de segon de batxillerat, i es va realitzar de forma contigua a la conferència sobre antimatèria d'en Lluís Garrido, catedràtic a la Universitat de Barcelona.

Aquesta exposició va formar part de la "Barcelona Techno Week", esdeveniment celebrat anualment a la mateixa universitat, i que pretén fomentar l'interès dels futurs estudiants en diferents àmbits de caràcter tecnològic i amb una àmplia base física.



Imatge del dia de l'exposició

4.2.-Realització de la pràctica de detecció de partícules:

Durant aquesta pràctica vam realitzar l'anàlisi radioactiu de diverses mostres, procedents del laboratori de geologia del nostre centre. Vam analitzar diversos elements i compostos químics, de l'anàlisi resultant vam classificar dits materials i compostos en diversos nivells de radiació, aquesta espècie de graus de radiació va ser expressada en una nomenclatura lingüística, i no numèrica.

Element o compost químic	Nivell de radiació
Sofre	Poc
Fluorita	Nul
Marcasita	Nul
Criolita	Poc
Granit	Poc
Amiant	Nul
Jumillita	Poc
òxid d'alumini	Poc

A més, dita pràctica tenia una segona part, que tenia com a objectiu dos fets primordials; un d'ells era el fet d'obtenir una forma base per a cada tipus de partícula radioactiva captada pel detector, objectiu que vam ser capaços de completar amb èxit:

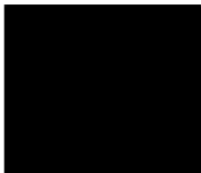
Partícules alfa



Partícules beta



Partícules gamma



A més, vam dur a terme diferents càlculs, que relacionaven el càlcul d'energies clàssiques i relativistes de les respectives partícules radioactives. Per poder observar els resultats d'una forma més visual i organitzada vam organitzar els resultats de dits càlculs en un format de taula, obtenint les tres taules següents:

Partícules alfa:

E_k (KeV)	8199	6561	4624	12289	7674
v (relat.) (ms^{-1})	$1'98 \cdot 10^7$	$1'77 \cdot 10^7$	$1'49 \cdot 10^7$	$2'42 \cdot 10^7$	$1'92 \cdot 10^7$
v (class.)	$1'98 \cdot 10^7$	$1'77 \cdot 10^7$	$1'49 \cdot 10^7$	$2'98 \cdot 10^7$	$1'92 \cdot 10^7$

(ms⁻¹)					
v/c (relat.) (ms⁻¹)	0'066	0'059	0'05	0'081	0'064
v/c (class.) (ms⁻¹)	0'066	0'059	0'05	0'099	0'064
Desviació (%)	0	0	0	0'231	0

Partícules beta:

E_K (KeV)	2660	1884	3106	3107	843
v (relat.) (ms⁻¹)	2'96 · 10 ⁸	2'56 · 10 ⁷	2'08 · 10 ⁷	2'08 · 10 ⁷	1'72 · 10 ⁷
v (class.) (ms⁻¹)	9'67 · 10 ⁸	2'57 · 10 ⁷	2'08 · 10 ⁷	2'08 · 10 ⁷	1'72 · 10 ⁷
v/c (relat.) (ms⁻¹)	0'99	0'085	0'069	0'069	0'057
v/c (class.) (ms⁻¹)	3'22	0'085	0'069	0'069	0'057
Desviació (%)	2'27	0	0	0	0

Partícules gamma:

E_K (KeV)	126	46	73	70	75
f (Hz)	1'9 · 10 ³⁵	6'94 · 10 ³⁴	1'1 · 10 ³⁵	1'05 · 10 ³⁵	1'13 · 10 ³⁵
λ (m)	1'58 · 10 ⁻²⁷	4'32 · 10 ⁻²⁷	2'73 · 10 ⁻²⁷	2'83 · 10 ⁻²⁷	2'65 · 10 ⁻²⁷
p (kg·mm/s)	4'19 · 10 ⁶¹	1'53 · 10 ⁶¹	2'43 · 10 ⁶¹	2'34 · 10 ⁶¹	2'5 · 10 ⁶¹

5.-PRÀCTIQUES:

5.1.-Anàlisi del primer experiment: Col·limació d'un feix de partícules:

5.1.1.-Objectius:

Els objectius principals d'aquesta pràctica van ser realitzar el càlcul de dos variables principals: l'anomenat angle de divergència, que mostraria la desviació de les partícules captades pel detector respecte la trajectòria del feix de partícules original; i l'angle espacial, que seria definit com una extrapol·lació tridimensional de l'angle de divergència.

5.1.2.-Hipòtesi:

Segons els resultats establerts a la pauta de realització de la pràctica, i tenint en compte que el procés seguit per realitzar la mateixa era molt similar a la imposada, hauríem d'obtenir un angle de divergència proper als 40° , i un angle espacial d'aproximadament $0'3$ sr (estereoradiants).

5.1.3.-Materials:

- Ordinador
- Detector Timepix
- Varetes de tungstè (com a font de radiació)
- Capsa de plom (com a polaritzador)

5.1.4.-Procediment:

Muntem el detector Timepix i acte seguit preparem el complex de radiació. Per fer-ho, col·loquem la font de radiació (que en aquest cas estarà basada en un conjunt de varetes de tungstè) a dins d'una capsa de plom amb un únic forat

d'escapament, per tal de ser capaços de polaritzar el feix de partícules radioactives emeses pel tungstè, acte seguit disposem el detector de la manera més pròxima possible al forat d'escapament de la capsula, comencem la mesura.

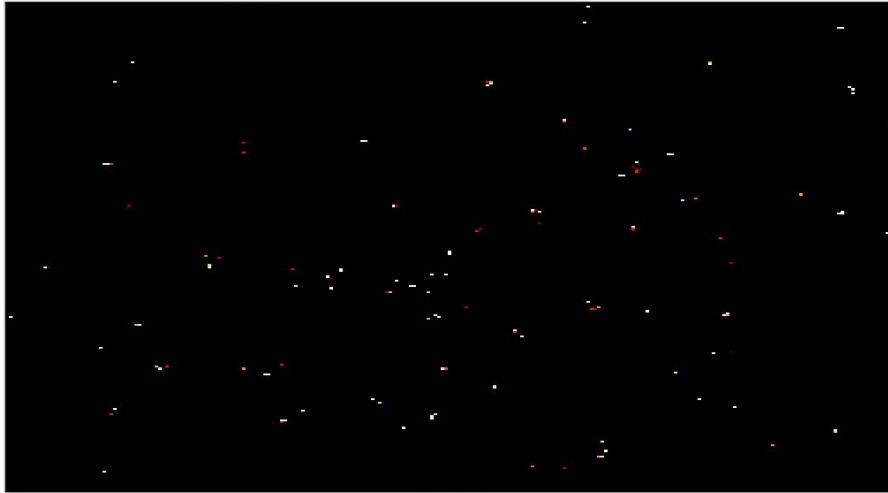


Després d'haver acabat la recopilació de dades, podem observar una imatge quasi circular provinent del forat d'escapament.



Podem determinar el diàmetre del cercle d_1 per la lectura de les coordenades del cursor a la matriu 256×256 píxels. Les coordenades de la línia de corrent són anomenades XY. Al nostre cas, el diàmetre és 54 píxels, el qual correspon a $d_1=3.0\text{mm}$ (l'amplada d'un píxel és $55\ \mu\text{m}$).

Ara, allunyem la font del detector per la distància $x = 10\ \text{mm}$, repetim la mesura amb el mateix procediment, i tornem a determinar el diàmetre aproximat de la pista de forma circular. El valor obtingut és $d_2=7.4\text{mm}$.



La divergència del feix, és caracteritzada per l'angle α de la secció transversal axial. Ara, utilitzem les longituds mesurades per calcular l'angle alfa:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d-d}{2x} = 30^\circ$$

El tamany de l'angle espacial Ω pot ser calculat per la pròpia definició d'aquest:

$$\Omega = \frac{s}{r^2} = \frac{2\pi r h}{r^2} = \frac{2\pi h}{r}$$

On r és el radi de l'esfera
 h és l'altura de la tapa esfèrica

A més, podem establir una relació directa amb altres variables, obtenint:

$$\Omega = \frac{2\pi h}{r} = \frac{2\pi r(1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{r} = 2\pi(1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = 0.214 \text{ sr. (estereoradiants)}$$

5.1.5.-Comparativa de resultats:

Podem notar una gran diferència de resultats respecte els resultats imposats per la pràctica:

Resultats obtinguts:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\Omega = 0.214 \text{ sr.}$$

Resultats predits:

$$\alpha = 38^\circ$$

$$\Omega = 0.342 \text{ sr.}$$

5.1.6.-Possibles variables modificadores del resultat:

El canvi de resultats observat pot haver estat ocasionat per diverses circumstàncies, les més probables, són els múltiples canvis de variable que s'han ocasionat al realitzar el procés d'experimentació. Aquestes poden ser les següents:

-Canvi en la font de radiació: Segurament la més probable, la presència de les varetes de tungstè en comptes de la font de radiació alfa establerta per la pràctica pot haver alterat considerablement els resultats de la mateixa. La font interposada per la pràctica té un regulador radioactiu, junt amb un polaritzador de molta precisió, que faria molt possible un canvi a les figures esfèriques obtingudes a la pràctica.



Imatge que mostra unes varetes de tungstè, iguals a les utilitzades durant la realització de l'experiment

-Canvi en el material general: Nosaltres no vam disposar d'elements que podrien afavorir l'obtenció d'un resultat adient al de la pràctica, com per exemple els rails de muntatge, que ajudarien a establir una posició correcta del detector respecte la font.

5.2.-Anàlisi del segon experiment: Histograma de la energia de les partícules en relació amb el voltatge:

5.2.1.-Objectius:

Aquesta pràctica és abarcada per dos objectius principals: l'estudi estadístic de les trajectòries i energies de les diferents partícules, relacionant aquests aspectes amb l'augment o descens del voltatge; el següent objectiu, consisteix en la creació de tres histogrames diferents, que relacionin l'energia de les partícules enregistrades, el

nombre de píxels que aquests ocupen. Aquest últim objectiu ens ajudaria a complir el primer, ja que els histogrames esmentats anteriorment s'haurien creat amb un canvi de certs paràmetres, entre ells el voltatge. A més, també vaig voler parlar de la distribució estadística general de l'histograma, intentant realitzar un altre histograma amb les dades otorgades pel detector.

5.2.2.-Hipòtesi:

La meua hipòtesi inicial va ser que, a mesura que s'augmentés el valor del voltatge, s'hauria de veure reflexat als histogrames posteriors un cert descens en el tamany de les partícules que els conformessin, i per tant una certa variació a la seva energia; això seria justificat per la diferència de col·lecció de càrrega produïda per la pantalla del detector, que és molt més ràpida amb un voltatge més alt; això provoca que els píxels contigus al punt d'origen de les càrregues sigui molt menor, fent que el tamany de les partícules captades pel detector siguin aparentment menors.

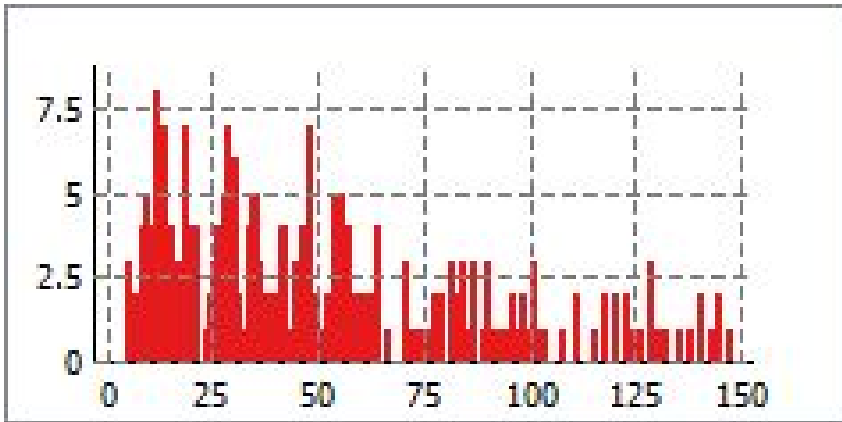
5.2.3.-Materials:

- Detector Timepix
- Ordinador
- Uranat de sodi (com a font de radiació)

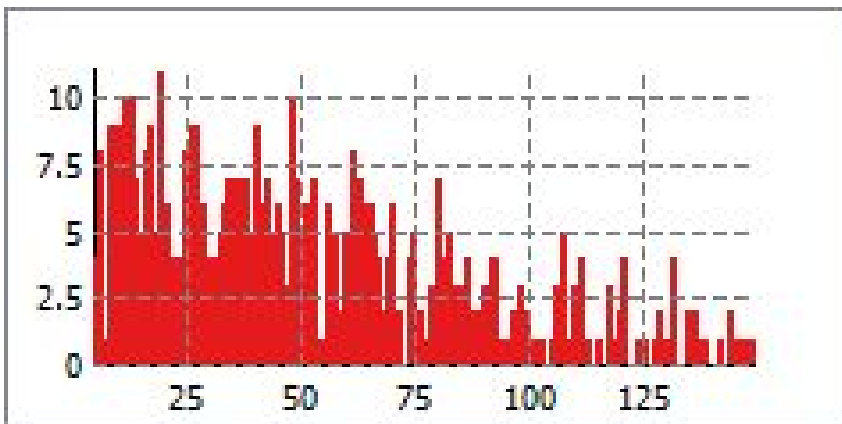
5.2.4.-Procediment:

Montem el detector Timepix, i acte seguit preparem la font de radiació, utilitzant en aquesta ocasió uranat de sodi. Col·loquem la font de radiació de la manera més pròxima possible al detector i comencem la mesura.

El programa de previsualització simple és capaç de mostrar un histograma del nombre de píxels registrats per una senyal després de l'impacte d'una partícula. Això succeeix immediatament durant l'execució d'una mesura. La memòria de l'ordinador emmagatzema els últims 500 marcs presos durant l'experiment, aquest pot ser observat al finalitzar la mesura. Després d'haver pres aproximadament 500 marcs, parem la mesura apretant el botó "Stop" i guardant l'histograma (Arxiu=>Exportar imatge).



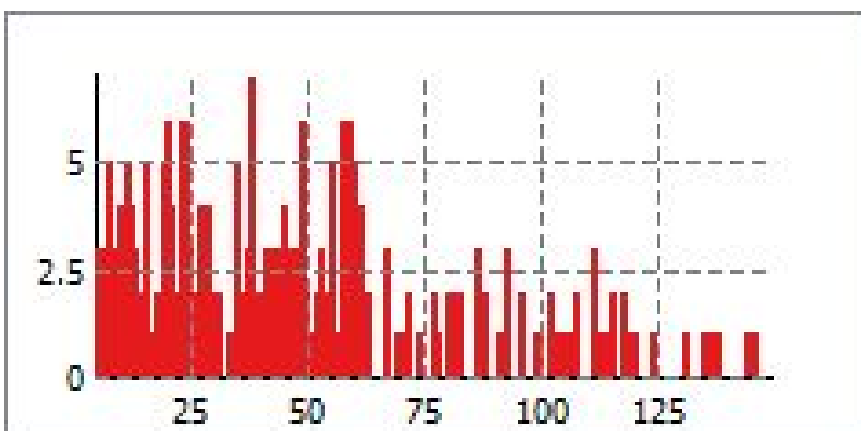
Després, canviem el valor de voltatge a 90V, i obtenim el següent:



En la comparació dels dos histogrames anteriors, observem clarament que l'augment del valor de voltatge provoca un descens notable de tamany de les pistes (tamany de taca), tal i com vam predir a la hipòtesi inicial.

Repetim el procés experimental duent a terme les següents modificacions:

Voltatge 20V, 50 exposicions, temps 0.5 s



A més del pic principal, la figura hauria de mostrar un altre, un pic menor. Això, no obstant, no és observat realment, degut a que no disposem de l'opció corresponent a l'elecció del tipus de partícula a analitzar, pel que tots els histogrames anteriors han estat realment creats per tots els tipus de partícules radioactives solapades.

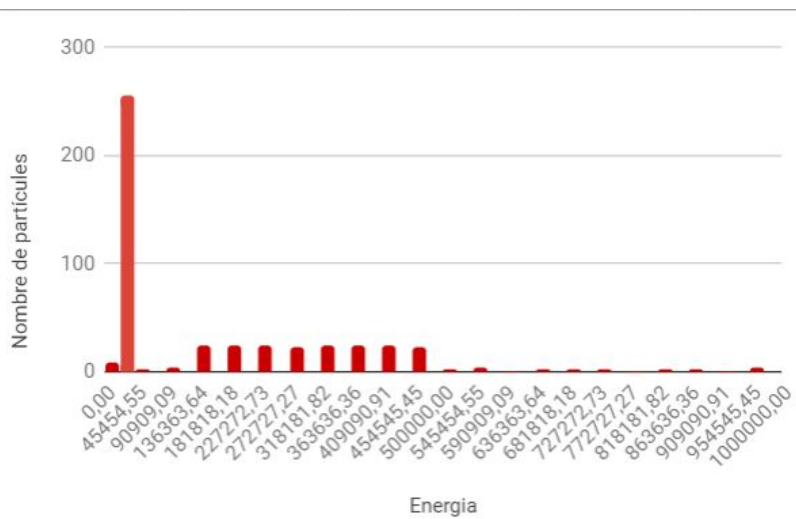
5.2.5.-Comparativa de resultats:

Podem notar una gran diferència entre els resultats obtinguts a partir de l'experiment realitzat i els experiments hipotètics establerts per la pràctica. Aquest fet és degut a que el nostre programa no conté la opció necessària per separar les partícules captades per tipus, pel que els histogrames que hem dut a terme als apartats anteriors de la pràctica són histogrames de tots els tipus de partícules captades.

Podem realitzar un estudi estadístic de les partícules, sense centrar-nos en un tipus específic, relacionant l'aparició de les partícules amb la quantitat d'energia que aquestes contenen.

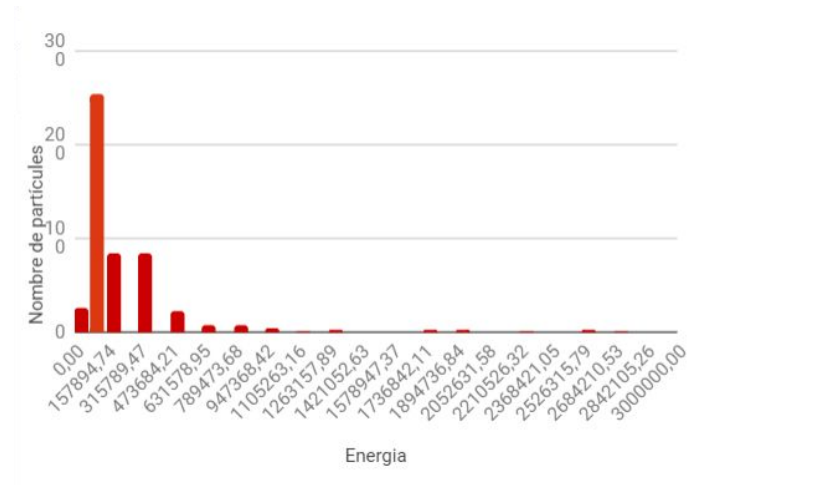
Per fer-ho, vam introduir les dades recollides pels anàlisis realitzats al detector a un full de càlcul; amb això vam obtenir una taula de dades, que vam utilitzar posteriorment per a realitzar uns histogrames, que ens ajudessin a estudiar l'evolució de les partícules amb el voltatge:

Histograma 1:



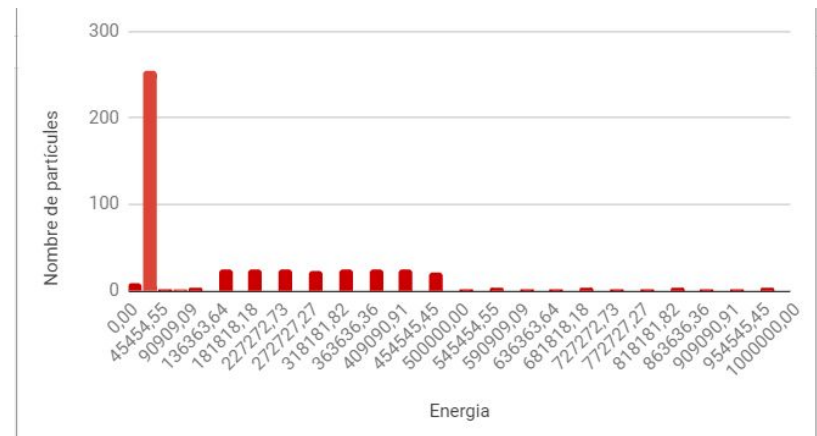
Imatge que ens mostra l'histograma que relaciona l'energia i el nombre de píxels amb un voltatge de valor de voltatge de 20 volts

Histograma 2:



Imatge que ens mostra l'histograma que relaciona l'energia i el nombre de píxels amb un voltatge de valor de voltatge de 90 volts

Histograma 3:



Imatge que ens mostra l'histograma que relaciona l'energia i el nombre de píxels amb un voltatge de valor de voltatge de 20 volts, aquesta vegada amb una modificació del temps respecte el primer histograma

5.3.-Anàlisi del tercer experiment: Energia dels muons:

5.3.1.-Objectius:

Aquesta pràctica té com a objectiu estudiar la diferència d'energia que pateixen els muons a mesura que aquests es desplaçen. Per poder analitzar-la, vam disposar d'un anàlisi de 60 frames, realitzada a partir de la radiació de fons, i dividint el mateix en diferents anàlisis de partícules individuals, tractant-se únicament de muons. Això ens porta al següent objectiu, que consisteix en la creació d'un histograma que relacioni l'energia que contenen aquests muons i el nombre de píxels que ocupen, pel que podríem obtenir la quantitat d'energia distribuïda en cadascun dels píxels ocupats.

5.3.2.-Hipòtesi:

La meua hipòtesi inicial va ser que a mesura que els muons anessin avançant en l'espai la seva energia aniria variant d'una forma molt semblant a una campana de Gauss, però decantant l'extrem format a la campana cap a l'origen de coordenades, distribució anomenada "distribució de Landau". Per tant, tots els muons procedents dels anàlisis realitzats durant l'experiment haurien de crear histogrames propers a la distribució de Landau, seguint un patró específic de variació d'energia.

5.3.3.-Materials:

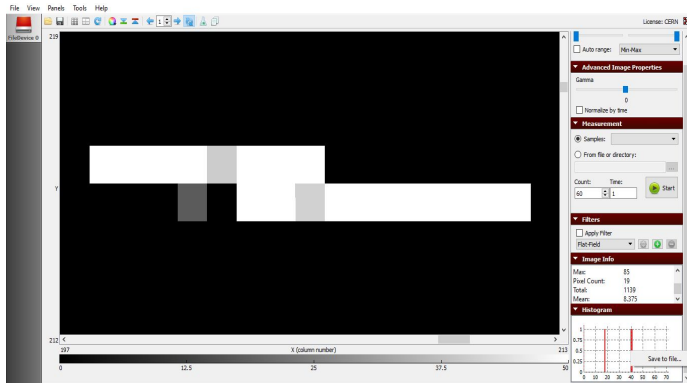
- Detector Timepix
- Ordinador

5.3.4.-Procediment:

Muntem el detector Timepix i acte seguit realitzem una única mesura, composta per 60 frames, aquesta mesura serà dividida en cadascun dels frames, obtenint un total de 60 mesures.

Acte seguit, entrem en cadascuna de les mesures per frame, i seleccionem les partícules que tinguin una representació similar a la representació estàndard d'un

muó; fem click a l'histograma individual d'aquesta partícula i el guardem com a un full de càlcul.



Imatge que mostra l'anàlisi d'un muó procedent del segon frame, i l'inici del procés de guardat de les dades de l'histograma

Una vegada tenim tots els arxius necessaris entrem en els mateixos. Un cop dins l'arxiu observem que s'ha creat una taula de valors, que relaciona el nombre de píxels ocupats per la partícula analitzada i la distribució de la seva energia respecte a aquests píxels.

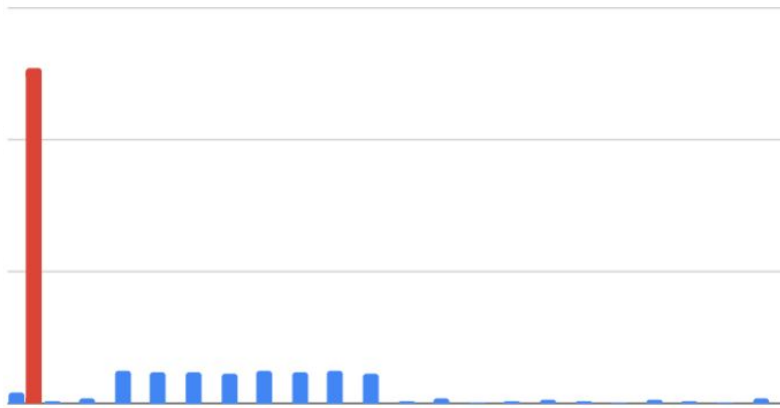
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	195.312	390.625	585.938	78.125	976.562	117.188	136.719	1.5625	175.781
2	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3										
4										

Imatge que mostra la taula obtinguda d'un dels muons analitzats del cinquè frame

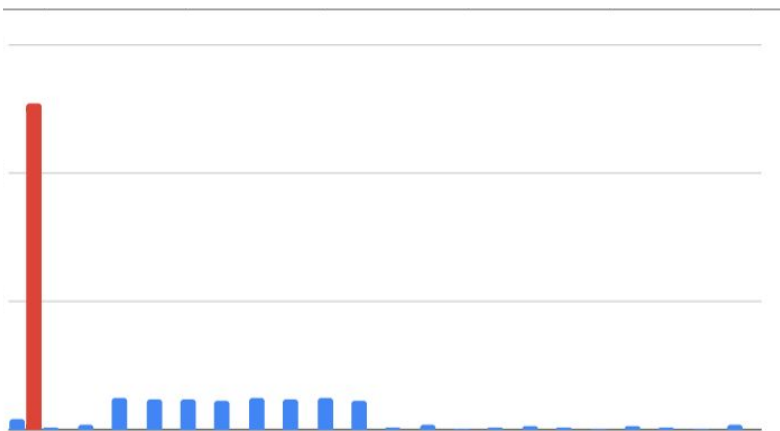
5.3.5.-Resultats:

Observem un conjunt de sis mesures de partícules individuals pertanyents a 5 frames diferents. A continuació es mostren els diferents histogrames que han proporcionat les diferents partícules, amb els quals intentarem buscar un patró de variació:

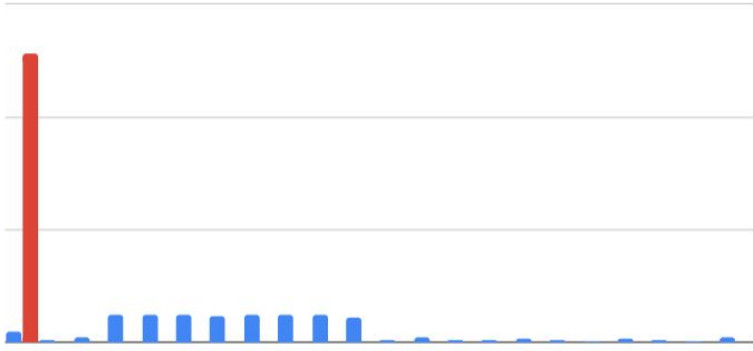
Muó frame 1



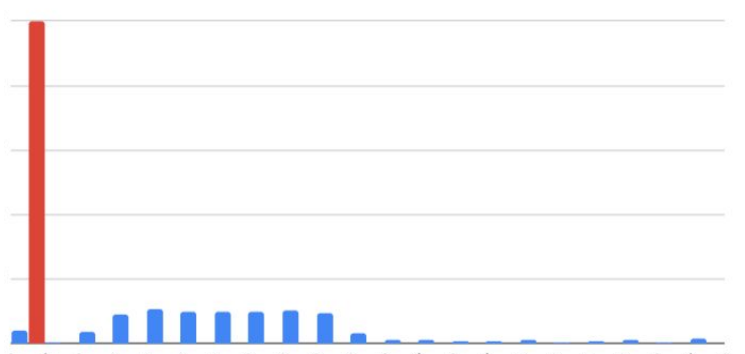
Muó frame 2



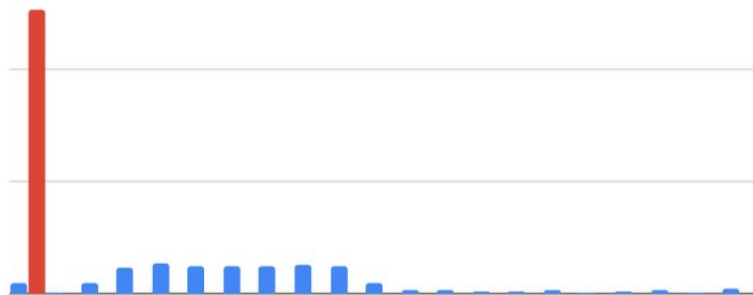
Muó frame 3



Muó frame 4

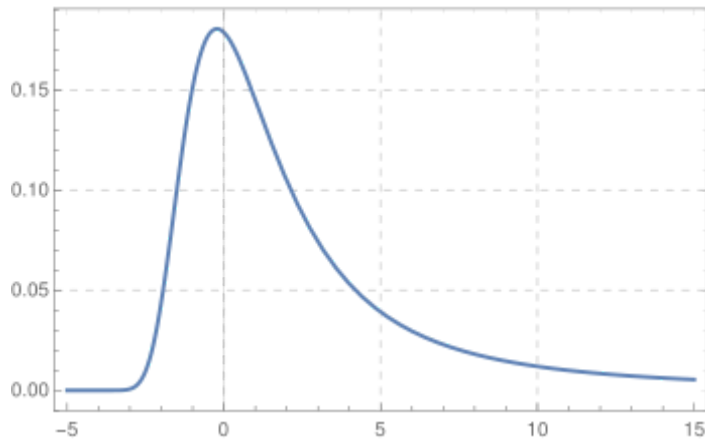


Muó frame 5



D'aquests histogrames podem obtenir una relació de la variació de l'energia de les partícules i del seu desplaçament. Tal i com és esmentat a la hipòtesi aquests

histogrames presenten una forma semblant a l'anomenada "distribució de Landau", la qual és representada a la següent imatge:

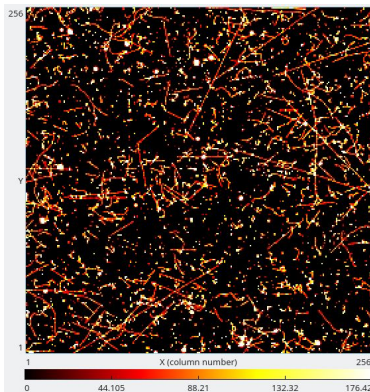


Imatge que mostra la "distribució de Landau"

5.4.-Concurs de fotografia:

A part de les mesures esmentades als experiments anteriors també va ser presa una altra mesura basada en la radiació de fons d'una casa particular, aquesta va ser presa en un període temporal de 2'8 hores aproximadament, períodes mesurats durant el dia i durant la nit, quedant separada la totalitat de la mesura en cinc mesures diferents.

Una d'aquestes mesures va ser aprofitada per a presentar-la a la cinquena convocatòria del concurs anual de fotografia física de la Societat Catalana de Física, per la qual vam redactar un text explicatiu de la mateixa imatge.



Imatge que mostra la imatge presentada al concurs de fotografia física

6.-CONCLUSIONS:

Aquest treball ha estat una gran oportunitat per a mi; no només he pogut incrementar el meu coneixement respecte el món físic, sinó que a més he pogut gaudir de l'experiència de realitzar diferents experiments englobats en la branca de la física de partícules.

A més, he pogut complir molts dels objectius proposats a l'inici del meu treball; per exemple, he augmentat el meu coneixement sobre la física de partícules i sobre els diferents mètodes experimentals utilitzats en aquesta branca. També he pogut aprendre a utilitzar un detector de partícules, instrument que no havia utilitzat mai i que em va sorprendre el seu funcionament (consisteix en un pen drive que crea imatges a un programa); i he après a realitzar diagrames de Feynman, un mètode que volia aprendre a utilitzar des d'un inici.

Finalment, alguns objectius no van ser assolits, per un canvi en l'enfoc del meu treball o per voler assolir masses objectius. Un exemple és el meu objectiu d'aprendre a utilitzar l'equació de Schrödinger com a mètode d'anàlisi, objectiu que no vaig poder assolir per la dificultat matemàtica de l'ús de l'equació en la situació del detector de partícules.

En altres objectius, com el d'aprendre les característiques dels muons i dels tuons, finalment vaig centrar-me en els primers. Un altre exemple és el d'aprendre a realitzar matrius, que tot i que vaig aprendre a realitzar i a operar les més simples vaig acabar sense aplicar-ho matemàticament, degut a un canvi en l'enfoc del meu treball.

Em vaig trobar amb alguns problemes; un exemple va ser la diferència entre els materials dels que nosaltres disposàvem i dels esperats a l'hora de realitzar les meves pràctiques, fet que va provocar que obtingués uns resultats bastant allunyats dels resultats esperats. Aquesta diferència residia en que nosaltres no disposàvem d'un equip professional.

Per una altra banda, existeixen alguns aspectes que podrien haver millorat el meu treball; un d'ells hauria estat la inclusió d'una entrevista a algun professional d'aquest camp per aclarir alguns aspectes del meu marc teòric i podria haver-me fet plantejar un nombre més extens d'objectius.

En conclusió, aquest treball m'ha donat una visió més àmplia sobre la física en general, i per tant, m'ha aprofitat una mica més a la meva aspiració de ser físic. Per

això, considero la realització d'aquest treball com a una molt bona experiència, amb la que he gaudit plenament..

7.-AGRAÏMENTS:

Cal agrair a diverses persones el fet de que hagi pogut realitzar el meu treball correctament; aquestes són les següents:

-Daniel Parcerisas, per guiar-me a l'hora de fer el meu treball de recerca, tant a l'hora de solucionar els meus dubtes, com a l'hora d'establir una pauta pel treball.

-El doctor Rafael Ballabriga, que ens va proporcionar el detector de partícules Timepix, amb el que vam realitzar diferents tipus d'experiments, i per acompanyar-nos en diverses ocasions.

-Els companys amb els que comparteixo part del treball, ja que ens hem anat ajudant entre tots en les parts comunes.

-Els professionals de la Universitat de Barcelona, que ens van ajudar durant la realització d'una de les pràctiques comunes a la mateixa universitat.

-Esther Prunera, ja que va proporcionar-nos diversos elements per realitzar els experiments de les nostres parts pràctiques.

8.-BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA:

Menció de fonts digitals:

Power point introduccio_estructura_atomica intra.safagava.edu Química 1r BATX
< Data de consulta: [02.07.2018]

Power point model_dalton intra.safagava.edu Química 1r BATX
< Data de consulta: [02.07.2018]

Power point tubos_descarga_modelo_thomson intra.safagava.edu Química 1r BATX
< Data de consulta: [02.07.2018]

Power point model_rutherford intra.safagava.edu Química 1r BATX
< Data de consulta: [03.07.2018]

Power point espectros_modelo_bohr intra.safagava.edu Química 1r BATX
< Data de consulta: [03.07.2018]

PDF "Matrius 2n BATX"
<Data de consulta: [07.07.2018]
Pàgina pricipal www.particleadventure.org
<Data de consulta: [17.07.2018]

Power point "Introduccion a los detectores de particulas" <https://indico.cern.ch>
<Data de consulta: [09.07.2018]

Pàgina www.hyperphysics.phy
<Data de consulta: [11.07.2018]

"Aceleradores de partículas" de la pàgina www.espaciociencia.com
<Data de consulta: [21.07.2018]

Pàgina <http://relativismo.weebly.com/>
<Data de consulta: [26.11.2018]

Menció de fonts bibliogràfiques:

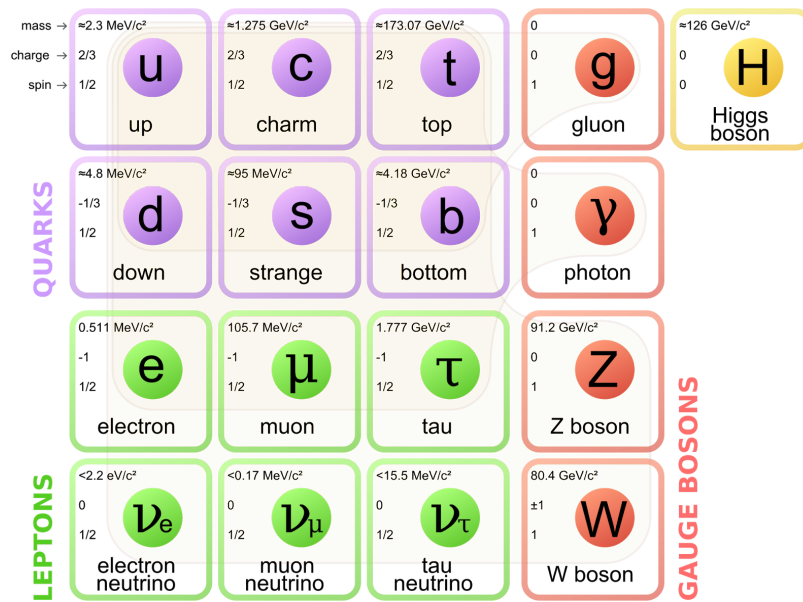
Llibre de 2n de Batxillerat de física. Edició del 2009:McGraw Hill. Temes "Naturalesa de la llum" i "Física Nuclear"

MARCOS, Pol. (2019): "Análisis del Software PíxelPRO". *Computación numérica aplicada al análisis de datos científicos*.

VALLÈS, Carles. (2019): "Detector de partícules Timepix". *Radiació ionitzant i barreres de radiació*

GALVE, Guillermo. (2019): "Física Nuclear" *Introducción a la física nuclear y desarrollo de una cámara de niebla*.

ANNEXOS



Mario Agustiño Batet
 Científic (modalitat)
 Daniel Parcerisas (tutor)
 2018-2019

ANNEXOS

Aquest treball també ha estat basat en una base teòrica diferent a l'esmentada, teoria que prové de diferents treballs ja esmentats a l'apartat de bibliografia.

Aquestes bases són les següents:

1.-Anàlisi del software PixetPRO:

Introducción

El PIXET Pro es un software multiplataforma desarrollado en la empresa ADVACAM. Es un paquete de software para el control de adquisición de datos para los chips de la familia Medipix. Es compatible con la mayoría de los Medipix disponibles basados en dispositivos (Medipix2, Medipix3, Timepix, Medipix Quad, Timepix Quad, Widepix, Timepix3) y con las interfaces de lectura comúnmente utilizadas (MiniPIX, FitPIX, ModuPIX, WidePIX, RasPIX, etc)

En particular nosotros lo hemos utilizado sobre un chip Timepix con interfaz MiniPIX.

Pixet proporciona muchas herramientas para la optimización de los parámetros del detector, procesamiento de datos, correcciones de imágenes y scripting en Python con resaltado de sintaxis.

Pixet está escrito en lenguaje C++ y utiliza bibliotecas Qt multiplataforma.

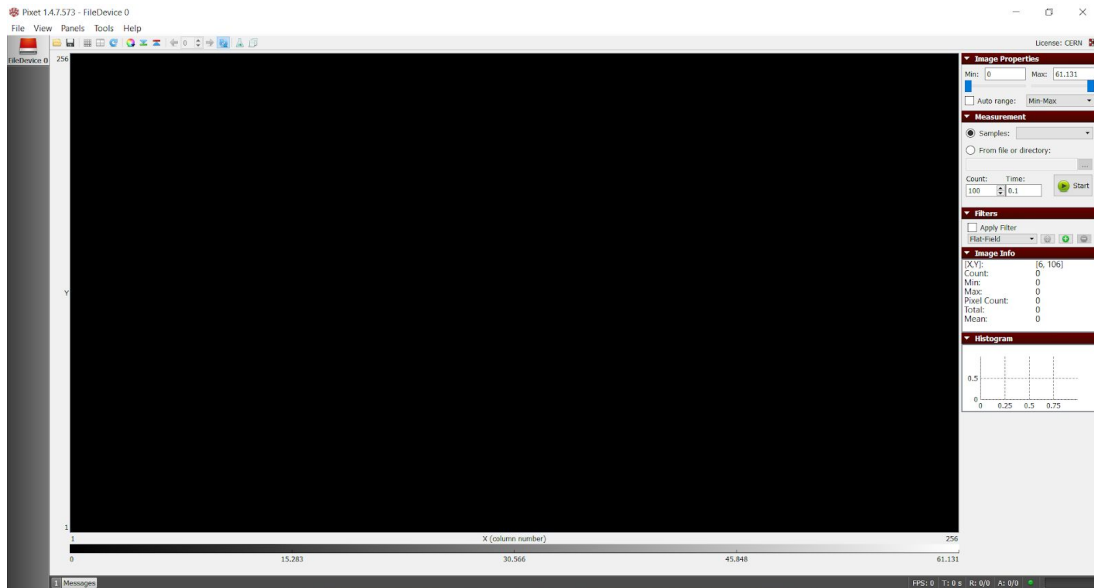
Aplicaciones

Nosotros hemos usado el software para:

- Medir y leer los datos que nos proporciona el detector Medipix.
- Visualizar y modificar los datos.
- Configurar el detector.
- Guardar los datos medidos en diferentes tipos de formatos (ASCII,PNG,pixel log,...).
- Aplicar scripts como Flat-field para mejorar las imágenes.

- Aplicar herramientas para realizar un diagnóstico de la imagen.

Ventana principal



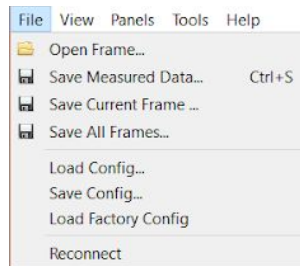
Esta ventana consta de 6 zonas bien diferenciadas:

- La barra de menús: con diferentes acciones y comandos.
- La barra de herramientas: con botones con las principales acciones.
- La barra de dispositivos: con los dispositivos conectados
- La barra de estado: con información de la medición.
- La barra de paneles: con diferentes paneles de configuración y muestra de datos.
- La imagen detectada: con una barra de estado y las escalas de energía.

La barra de menús

Esta ventana tiene una barra de menús superior con diferentes opciones:

La opción de **File** nos permite abrir el archivo que queremos analizar o modificar. Dentro de esta encontramos la opción de diferentes tipos de guardado dependiendo de lo que queramos guardar. También encontraremos la opción de cargar la configuración usada en archivos anteriores.



La opción de **View** nos permitirá cambiar la manera en que vemos la imagen. Otras opciones son:

-**Mirror image** nos permitirá superponer una imagen igual a la que tenemos.

-**Rotate image** nos permite girar la imagen.

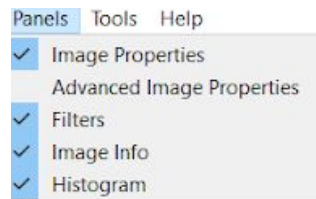
-**Show Grid** divide todos los píxeles rodeándolos con una línea gris.

-**Show Masked Pixels** nos permite visualizar los Píxeles que están enmascarados, es decir, los que a simple vista no se ven o se eliminan para una mejor calidad de imagen.

-**Ensure Aspect Ratio** nos permite mostrar la imagen con la ratio anchura y altura fijas.



La opción de **Panels** permite elegir los paneles que deseamos que se vean en nuestra ventana principal.



La opción de **Tools** nos permite usar algunas herramientas para mejorar o modificar nuestra imagen.

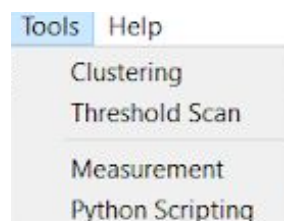
Clustering nos permitirá agrupar todos los píxeles ya sea por similitud o distancia, consiguiendo que la imagen se vea más suave o homogénea.

Threshold Scan te permite detectar alguna detección fuera de lugar.

Measurement mide la cantidad de píxeles ya sea en número o por cantidad de energía.

Python Scripting modifica el documento pero de una manera más profesional ya que lo modificas directamente en el script (código) de la imagen.

La opción de **Help** nos proporciona ayuda para poder usar el programa o resolver alguna duda.



En la parte izquierda del menú encontramos el/ los detectores que estamos usando en ese momento. El color cambiará dependiendo de si está enviando información o no.

En mi caso sale de esta manera porque no tengo el detector conectado.

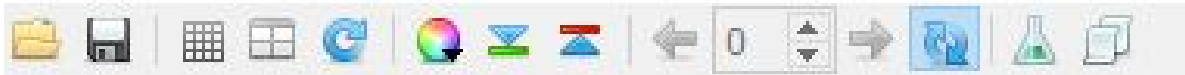


En caso de tener varios chips conectados aparece una imagen como la siguiente:



Barra de herramientas

Debajo de la barra de opciones superior encontramos la **barra de herramientas** que también nos permitirá modificar la imagen.



La primera y segunda opción nos permiten abrir y guardar la imagen actual.

La tercera y cuarta nos permiten mostrar la rejilla de píxeles y mostrar el número de serie del chip.

La quinta nos permite girar la imagen.

La sexta nos permite cambiar el tipo de color con los que se ve la imagen.

La séptima y octava nos permiten modificar el rango de colores según nuestras necesidades.

La novena nos permite pasar de frame en frame.

La décima nos permite activar o desactivar la opción de auto refrescar.

La undécima nos permite editar la configuración de los píxeles.

La duodécima nos permite mostrar o no el icono en el menú de PixetPro

La barra de estado

En la parte inferior encontraremos **la barra de estado**:



Primero encontramos **Messages** esto nos indica el número de mensajes que nos envía el propio programa.

A continuación encontraremos el número de frames (**FPS**) que se han medido por segundo.

Después encontramos el tiempo (**T**) en el que se ha medido.

Más adelante encontramos el contador que nos indicará cuántas repeticiones de la misma imagen se han realizado (**R**).

Después encontramos el marcador (**A**) que nos indica cuantas imágenes se han podido medir en total.

También encontraremos el icono del estado (Verde-Ok, Amarillo-advertencia,Rojo-error).

Por último encontraremos la barra de progreso.

A la derecha encontramos:

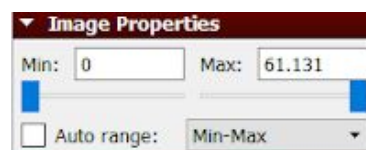
Image Properties:

Nos permite ajustar el valor de energía del rango visible de los fotogramas que deseamos ver. Esto nos permitirá resaltar algunos colores y opacar otros.

Estos valores van desde el valor mínimo (Min) hasta el valor máximo (Max) y se corresponden con la escala de colores que se haya seleccionado. Por ejemplo, si se trabaja en la escala de grises, los más bajos son los que corresponden al negro y a medida que vamos subiendo aparecerán otros, que se juntaran hasta llegar al blanco. Así, si definimos una matriz 3x3 entre los valores 1 (min) y 6 (max) todos los valores por de 1 o menos se verán negros, todos los valores de 6 o más se verán blancos y los valores intermedios tomaran diferentes tonos de gris.

5	1	0
3	4	1
5	6	2

Existe la opción de **auto range** que ajustará automáticamente estos valores para que la imagen cubra todo el rango.



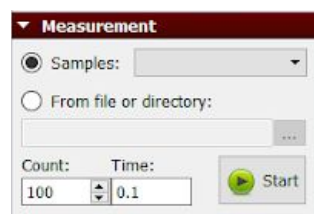
Measurement

Este menú nos permite elegir desde donde vamos a adquirir los datos para generar la imagen. Las opciones disponibles son desde el propio detector, instantáneamente o desde un documento guardado.

También nos va a permitir seleccionar los parámetros de tiempo y de cantidad de las veces que vamos a realizar la prueba.

Igualmente nos permite seleccionar el tipo de medida, pudiendo seleccionar por frames (imágenes individuales), integral (suma de imágenes) o por inyección de pulsos (solo para comprobación del chip).

Por último nos va a permitir ejecutar el programa e iniciar el proceso de medida.



Filters

Este menú nos permite aplicar filtros para que la imagen se vea de la mejor manera posible utilizando varios métodos y scripts. Un análisis del script flat-field se encuentra disponible en la parte práctica del TR.

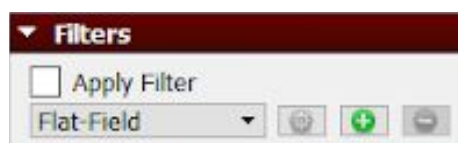


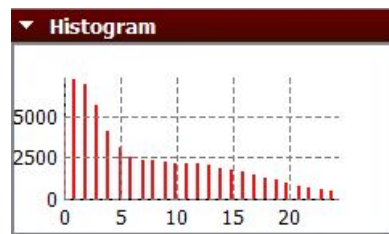
Image Info

Este panel nos muestra la información de la imagen estadística de la imagen.

Image Info	
[X,Y]:	[170, 94]
Count:	7
Min:	0
Max:	112
Pixel Count:	60922
Total:	585153
Mean:	8.92873

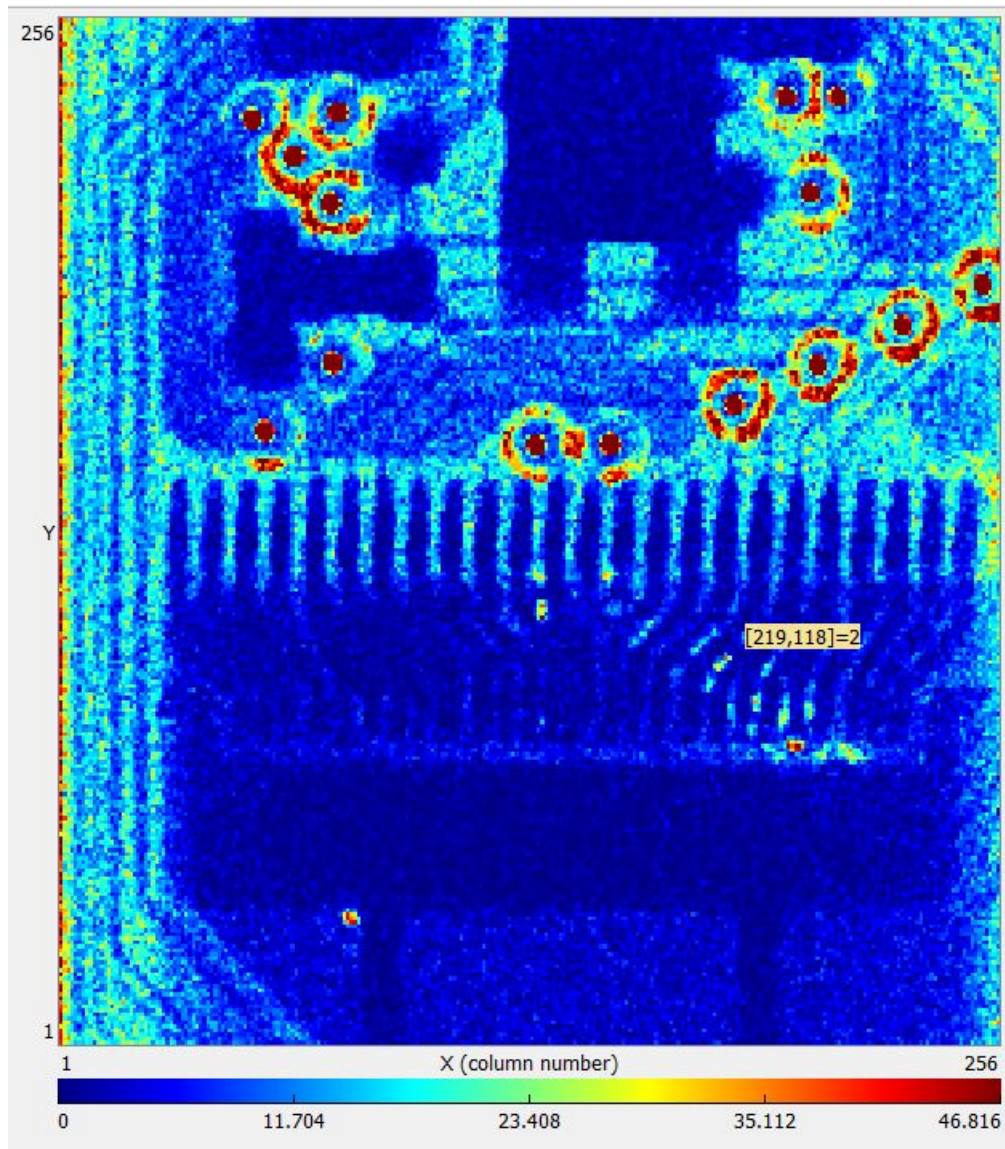
Histogram

Este menú nos crea un histograma de la imagen o imágenes con las que estamos trabajando.



Panel de imagen

Por último encontramos en el centro de todo la parte donde veremos la imagen y sus medidas y parámetros.



En este caso se muestra una de las pruebas que se hicieron en la universidad de Barcelona con el detector. En concreto esta muestra una memoria SD vista con rayos X. Se ha seleccionado como escala de colores *Jet* y una escala de energías entre 0 i 46,82 keV

2.-Introducción a la física nuclear:

Fuerzas fundamentales:

Las fuerzas fundamentales son las cuatro fuerzas de interacción fundamentales que se encuentran en el universo y son la interacción gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y por último la nuclear débil.

		Intensidad	Alcance (m)	Partícula
Fuerte	Fuerza que mantiene unido un núcleo	1	10^{-15} (Diámetro del tamaño promedio del núcleo)	gluón π (nucleones)
Electromagnética		$\frac{1}{137}$	Infinito	fotón masa = 0 espín = 1
Débil	Interacción implicada en el decaimiento β	10^{-6}	10^{-18} (0,1% del diámetro del protón)	bosones vectoriales intermedios W^+ , W^- , Z^0 masa > 80 GeV espín = 1
Gravitatoria		6×10^{-39}	Infinito	gravitón χ ? masa = 0 espín = 2

Forces

Fuerzas fundamentales

La interacción gravitatoria:

La gravedad es descrita con mayor precisión por la teoría general de la relatividad (propuesta por Albert Einstein en 1915) que describe la gravedad no como una fuerza, sino como una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo causada por la distribución desigual de la masa. El ejemplo más extremo de esta curvatura del espacio-tiempo es un agujero negro, del cual nada, ni siquiera la luz, puede escapar una vez que pasa el horizonte de eventos del agujero negro. Sin embargo, para la mayoría de las aplicaciones, la gravedad se aproxima bien a la ley de Newton de la gravitación universal, que describe la gravedad como una fuerza que hace que dos cuerpos se atraigan entre sí, con la fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

La gravedad es la más débil de las cuatro fuerzas fundamentales de la física. Como consecuencia, no tiene influencia significativa a nivel de partículas subatómicas. En contraste, es la fuerza dominante en la escala macroscópica, y es la causa de la formación, forma y trayectoria de los cuerpos astronómicos. Por ejemplo, la gravedad hace que la Tierra y los otros planetas orbiten alrededor del Sol, también la Luna orbita la Tierra y provoca la formación de mareas, la formación y evolución del Sistema Solar, las estrellas y las galaxias.

Explicación del tirón gravitatorio según los dos modelos:

Dos objetos ejercen una fuerza de atracción una sobre la otra conocida como "gravedad". Sir. Isaac Newton cuantificó la gravedad entre dos objetos cuando formuló sus tres leyes del movimiento. La fuerza que tira entre dos cuerpos depende de cuán masiva sea cada uno y de cuán alejados estén los dos. A pesar de que el centro de la Tierra te empuja hacia ella, tu centro de masa retrocede hacia la Tierra. Pero el cuerpo más masivo apenas siente el tirón de ti, mientras que con tu masa mucho más pequeña te encuentras firmemente arraigado gracias a esa misma fuerza. Sin embargo, las leyes de Newton suponen que la gravedad es una fuerza innata de un objeto que puede actuar sobre una distancia.

Albert Einstein, en su teoría de la relatividad especial, determinó que las leyes de la física son las mismas para todos los observadores que no aceleran, y demostró que la velocidad de la luz dentro de un vacío es la misma, sin importar la velocidad a la que viaje un observador. Como resultado, descubrió que el espacio y el tiempo estaban entrelazados en un solo continuo conocido como espacio-tiempo. Los eventos que ocurren al mismo tiempo para un observador podrían ocurrir en diferentes momentos para otro.

Mientras elaboraba las ecuaciones de su teoría general de la relatividad, Einstein se dio cuenta de que los objetos masivos causaban una distorsión en el espacio-tiempo. Para concebir este concepto se hace similar a colocar un gran cuerpo en el centro de una membrana. El cuerpo presionaría hacia abajo en la tela, causando que se forme un hoyuelo. Una canica rodada alrededor del borde giraría en espiral hacia el interior del cuerpo, tirada de la misma manera que la gravedad de un planeta atrae a las rocas en el espacio.

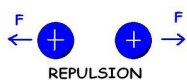
Interacción electromagnética:

Para entender esta interacción es necesario saber que en la teoría atómico existen tres tipos de partículas que forman los átomos: los electrones, neutrones y protones. Estas partículas son caracterizadas por la masa y una carga eléctrica. Al igual que en la gravitatoria de un cuerpo con presencia de masa produce esta interacción en el electromagnetismo se produce gracias a estas cargas eléctricas.

En el electromagnetismo se diferencian dos tipos de fuerzas: una es la fuerza de repulsión es producida cuando dos cuerpos interaccionan entre sí con la misma carga y el otro es la de atracción que se da en caso de que dos cuerpos de diferente carga interaccionan entre sí.

Al final la fuerza electromagètica explica cómo interactúan las partículas cargadas en movimiento y estacionarias. Su nombre fuerza electromagnética es debido a que incluye la fuerza eléctrica y la fuerza magnética; De forma que las fuerzas magnéticas y las fuerzas eléctricas son en realidad la misma fuerza fundamental.

La fuerza eléctrica actúa entre todas las partículas cargadas, estén o no moviéndose. Y a diferencia la fuerza magnética actúa entre las partículas cargadas en movimiento. Esto significa que cada partícula cargada emite un campo eléctrico, se mueva o no. Las partículas cargadas en movimiento (como las de la corriente eléctrica) emiten campos magnéticos .Einstein desarrolló su teoría de la relatividad a partir de la idea de que si el observador se mueve con las partículas cargadas, los campos magnéticos se transforman en campos eléctricos y viceversa.



REPULSION



ATRACCION

Figura 1

Repulsió i atracció entre càrregues elèctriques.

Interacción nuclear fuerte:

Esta fuerza a diferencia de las otras dos ya mencionadas se encuentra únicamente en situaciones de dimensiones atómicas muy pequeñas. Concretamente esta interacción es la responsable de mantener unidos los nucleones, es decir, los neutrones y protones

dispuestos en el núcleo atómico venciendo así a las fuerzas de repulsión electromagnética producidas por la presencia de la misma carga positiva entre protones produciendo la unión entre neutrones y protones en el núcleo. Sobre esta fuerza hay que recalcar que sólo se encuentra a distancias muy pequeñas de la medida de núcleos atómicos. Bajo el Modelo Estándar, una de las partículas más pequeñas y fundamentales, es decir, una que no se puede dividir en partes más pequeñas, es el quark. Estas partículas son los bloques de construcción de una clase de partículas masivas conocidas como hadrones, que incluyen a los ya nombrados protones y neutrones. De forma que la interacción fuerte fundamental mantiene unidos los quarks constituyentes de un hadrón, y la fuerza residual mantiene juntos los hadrones, como el protón y los neutrones en un núcleo.

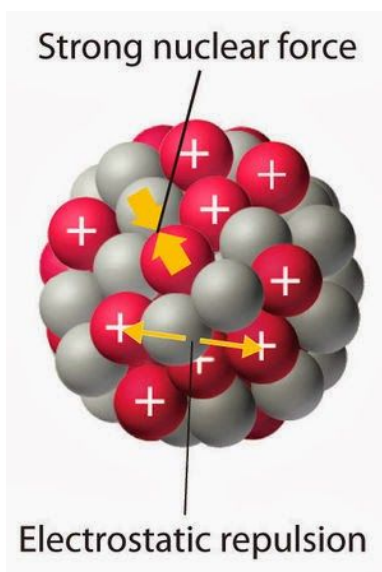


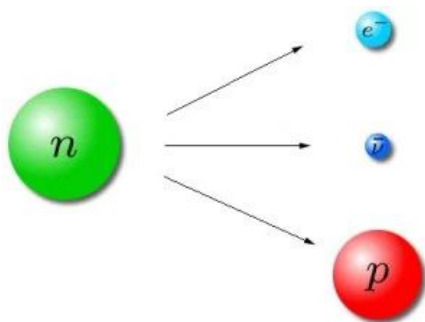
Diagrama del nucli d'un àtom amb les indicacions de les forces que estan presents (Repulsió electroestàtica i força nuclear forta)

Interacción nuclear debil:

Esta interacción define principalmente el concepto de las desintegraciones radiactivas. Como interacción débil no sólo puede ocasionar efectos puramente atractivos o repulsivos, sino que también puede producir el cambio de identidad de las partículas involucradas, es decir, lo que se conoce como una reacción de partículas subatómicas.

En caso de la interacción débil, fermiones pueden intercambiar tres tipos distintos de portadores de fuerza conocidos como los bosones W^+ , W^- y Z . La masa de cada uno de estos bosones es mucho mayor que la masa de un protón o neutrón, lo cual es consistente con el corto alcance de la fuerza débil. De hecho, la fuerza se denomina débil porque su intensidad de campo en una distancia dada suele ser de varios órdenes de magnitud menor que la de la fuerza nuclear fuerte o la fuerza electromagnética.

Los quarks, que forman partículas compuestas como neutrones y protones, vienen en seis "sabores" (arriba, abajo, extraño, encanto, arriba y abajo) que dan a esas partículas compuestas sus propiedades. La interacción débil es única porque permite que los quarks intercambien su sabor por otro. El intercambio de esas propiedades está mediado por los bosones portadores de fuerza. Por ejemplo, durante la desintegración beta menos, un quark down dentro de un neutrón se transforma en un quark up, convirtiendo así el neutrón en un protón y dando como resultado la emisión de un electrón y un antineutrino electrónico.



Desintegración del tipo beta de un neutrón

Radioactividad a las partículas:

El concepto de radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. Y esta se puede subdividir en dos principales tipos, la radiación no ionizante y la radiación ionizante.

Radiación no ionizante:

En cuanto a su definición, se refiere a cualquier tipo de radiación electromagnética que no transporta suficientes cuantos de energía para ionizar átomos o moléculas, es decir, para

eliminar completamente un electrón de un átomo o molécula. En lugar de producir iones cargados al pasar a través de la materia como la radiación ionizante, la radiación electromagnética no ionizante tiene suficiente energía solo para la excitación, el movimiento de un electrón hacia un estado de energía superior.

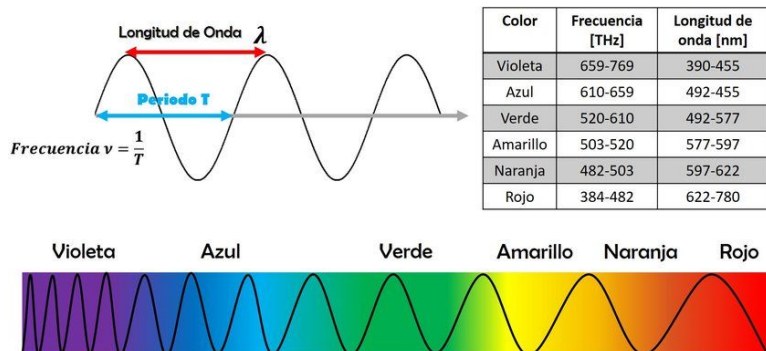
En cuanto a tipos existe una amplia variedad de radiaciones no ionizantes, pero las principales y con las que más convivimos en nuestro día a día son:

Ondas de radió:

Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética con longitudes de onda en el espectro electromagnético más largas que la luz infrarroja. Como todas las demás ondas electromagnéticas, viajan a la velocidad de la luz. Las ondas de radio que ocurren naturalmente son hechas por rayos o por objetos astronómicos. En cuanto a sus usos en la tecnología las ondas de radio generadas artificialmente se utilizan para comunicaciones de radio fijas y móviles, radiodifusión, radar y otros sistemas de navegación, comunicación por satélite, redes de computadoras e innumerables otras aplicaciones. Además estas según las diferentes frecuencias de las ondas de radio tienen diferentes características y propiedades de propagación en la atmósfera de la Tierra; por ejemplo, las ondas largas pueden cubrir una parte de la Tierra de manera muy consistente, las ondas más cortas pueden reflejarse en la ionosfera y viajar alrededor del mundo, y las longitudes de onda mucho más cortas se doblan o reflejan muy poco y viajan en una línea de visión.

Luz del espectro visible (Luz visible):

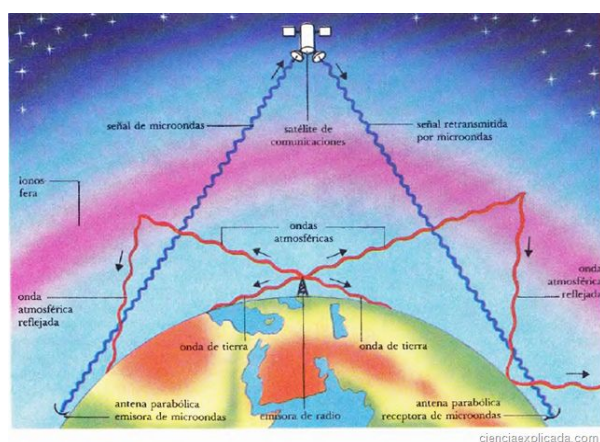
La luz, o luz visible, es el rango muy estrecho de la radiación electromagnética que es visible para el ojo humano con una longitud de onda de aproximadamente 400–700 nm, o hasta 380–750 nm.



Microondas:

Las microondas son una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda que van desde aproximadamente un metro a un milímetro

Las microondas viajan únicamente por caminos de línea de visión a diferencia de las ondas de radio de baja frecuencia. Además no viajan como ondas terrestres que siguen el contorno de la Tierra, ni se reflejan en la ionosfera. En cuanto a sus usos la radio de microondas se utiliza en transmisiones de radiodifusión y telecomunicaciones, además tienen un gran protagonismo en el ámbito de la astronomía radial debido a la recepción de microondas emitidas por cuerpos celestes lejanos como planetas, estrellas, galaxias, etc... también se encuentra el uso de las microondas en el calentamiento dieléctrico principalmente por la absorción de la energía en el agua que contienen los cuerpos sometidos a las microondas.



Radiación ionizante:

Las radiaciones ionizantes son aquellas formadas por fotones o partículas que interactúan con la materia y producen iones, como ejemplo de radiaciones ionizantes por partículas o corpusculares son ejemplos la radiactividad alfa y la radiactividad beta ya mencionadas anteriormente y respecto a radiaciones electromagnéticas también son ejemplos desde los

rayos ultravioleta a los rayos gamma o los rayos X.

Estas radiaciones en cuanto a su procedencia hay varias, principalmente se encuentran en sustancias radiactivas que emiten estos tipo de radiaciones de forma espontánea o también se pueden encontrar estas radiaciones en generadores artificiales como podría ser una máquina de rayos X o en un acelerador de partículas.

La utilización de estas es muy importante hoy en día para el desarrollo de la industria y medicina. En industria se han podido encontrar formas de conseguir grandes cantidades de energía gracias a la fisión nuclear, o en el caso de la medicina se encuentran diversos procedimientos mediante radiaciones ionizantes para diagnosticar enfermedades o tratamientos como puede ser la radioterapia.

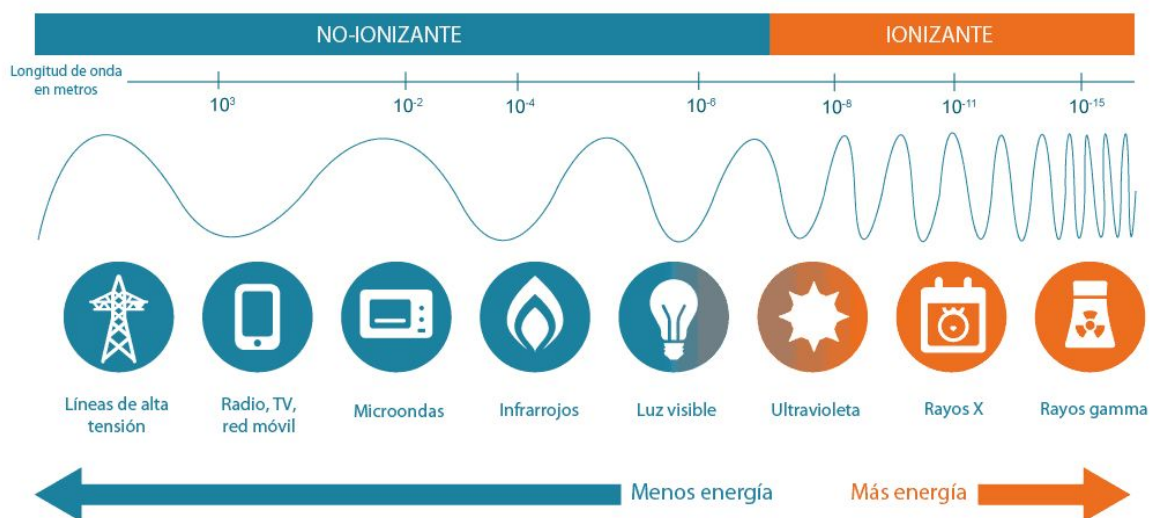


Diagrama de radiaciones según su energía y longitud de onda.

La radiación ionizante se clasifica por la naturaleza de las partículas u ondas electromagnéticas que crean el efecto ionizante. Estos tienen diferentes mecanismos de ionización, y pueden agruparse como ionizantes directa o indirectamente.

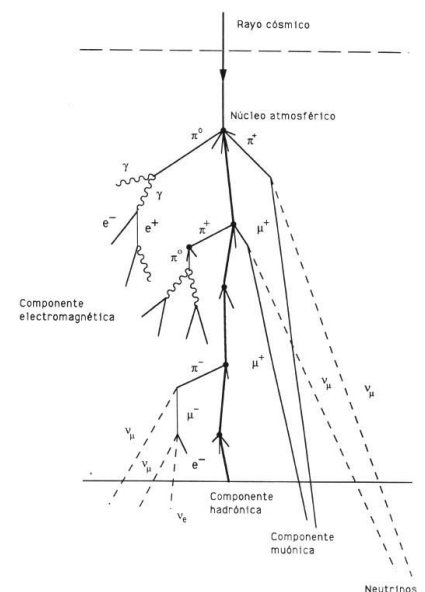
Radiación directamente ionizante:

Cualquier partícula masiva cargada puede ionizar átomos directamente por interacción fundamental a través de la fuerza de Coulomb si transporta suficiente energía cinética. Esto

incluye núcleos atómicos, electrones, muones, piones cargados, protones y núcleos cargados de energía despojados de sus electrones.

Cuando se mueven a velocidades relativistas, estas partículas tienen suficiente energía cinética para ser ionizantes, pero no se requieren velocidades relativistas. Por ejemplo, una partícula alfa típica es ionizante, pero se mueve a aproximadamente 5% c , y un electrón con 33 eV (suficiente para ionizar) se mueve a aproximadamente 1% c .

Los rayos cósmicos naturales se componen principalmente de protones relativistas, pero también incluyen núcleos atómicos más pesados como los iones de helio y los iones HZE. En la atmósfera, tales partículas a menudo son detenidas por moléculas de aire, y esto produce piones cargados de corta duración, que pronto se descomponen en muones, un tipo primario de radiación de rayos cósmicos que llega al suelo. Además, los piones también se pueden producir en grandes cantidades en aceleradores de partículas.



La radiación alfa:

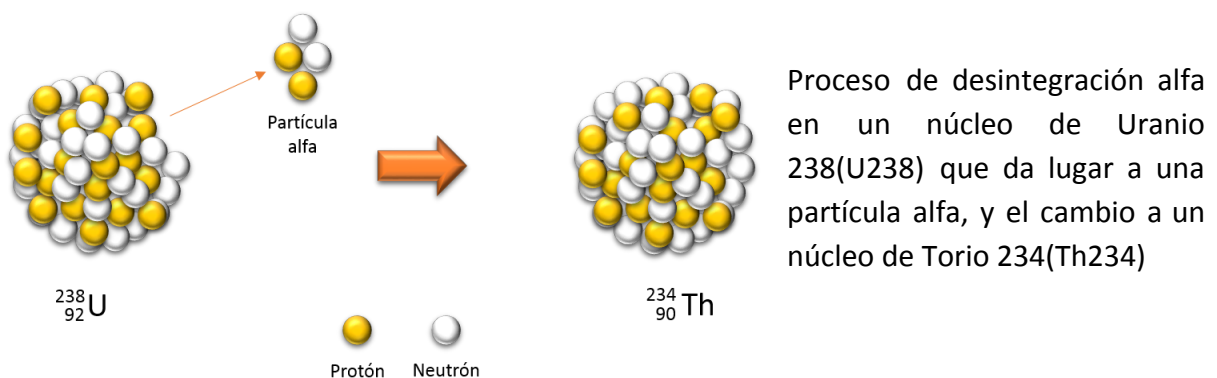
La radiación alfa está constituida por núcleos de helio ionizados (He^{2+}), ya que, no presentan electrones (e^-) lanzados a una gran velocidad aproximadamente $1/20c$ (donde c es la velocidad de la luz).

Son una forma altamente ionizante de la radiación de partículas, aunque tienen una profundidad de penetración baja, ya que pueden ser detenidos por unos pocos centímetros de aire, o por la piel.

Para la organización de radiación alfa se debe dar la desintegración alfa, la cual es un tipo de desintegración radiactiva en la que un núcleo atómico emite una partícula alfa (núcleo de helio) y, por lo tanto, se transforma o 'descompone' en un núcleo atómico diferente, con un

número de masa que se reduce en cuatro y un atómico número que se reduce en dos. La energía de las partículas alfa emitidas varía, con las partículas alfa de mayor energía emitidas desde núcleos más grandes, pero la mayoría de las partículas alfa tienen energías de entre 3 y 7 MeV (mega-electron-voltios), correspondientes a vidas medias extremadamente largas y extremadamente cortas.

Esta energía es una cantidad sustancial de energía para una sola partícula, pero su gran masa significa que las partículas alfa tienen una velocidad más baja (con una energía cinética típica de 5 MeV; la velocidad es de aproximadamente 15,000 km / s, que es el 5% de la velocidad de luz) que cualquier otro tipo común de radiación(partículas β , neutrones,etc.) Debido a su carga y gran masa, las partículas alfa son absorbidas fácilmente por los materiales y pueden viajar solo unos pocos centímetros en el aire.



La radiación beta:

La radiación beta está constituida por partículas beta, que en este caso no son más que electrones a velocidades muy cercanas a las de la luz, aproximadamente 0,99c (donde "c" es la velocidad de la luz).

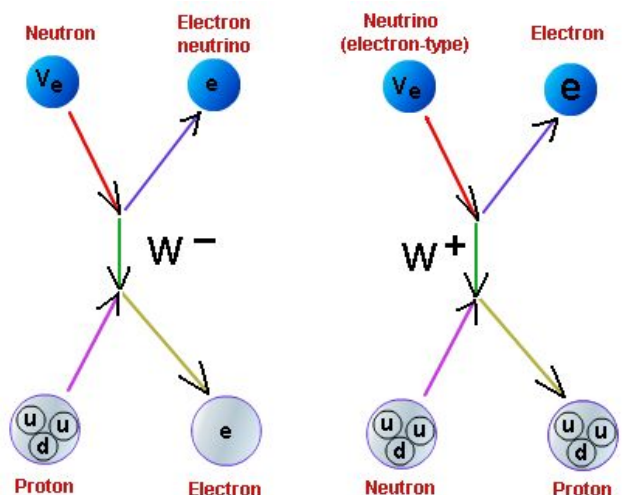
Más adelante se descubrió que aparte de la emisión de radiación beta para electrones a altas velocidades también existía de una forma de reacción inducida artificialmente la aparición de una radiación beta compuesta por positrones (antipartícula del electrón) a la misma velocidad que el electrón.

El proceso en el que un neutrón se transforma en protón y viceversa se denomina desintegración beta. La desintegración beta se produce cuando, en un núcleo con

demasiados protones o demasiados neutrones, de forma que uno de los protones o neutrones se transforma en el otro, y para la emisión de estas partículas se ha de producir una reacción nuclear la cual puede ser de dos formas:

De los tres tipos comunes de radiación emitida por los materiales radiactivos, la beta tiene un poder de penetración medio y el poder de ionización dentro de sus competentes también catalogado como medio. Aunque las partículas beta emitidas por diferentes materiales radiactivos varían en energía, la mayoría de las partículas beta pueden detenerse unos milímetros de aluminio. Sin embargo, esto no significa que los isótopos emisores beta puedan ser completamente protegidos por tales escudos delgados: a medida que se desaceleran en la materia, los electrones beta emiten rayos gamma secundarios, que son más penetrantes que los betas de por sí.

Al estar compuesto de partículas cargadas, la radiación beta es más fuertemente ionizante que la radiación gamma. Y es así que esta cuando pasa a través de la materia, una partícula beta es desacelerada por las interacciones electromagnéticas y puede emitir rayos X bremsstrahlung .



β^+ , un protón se descompone en un neutrón, un positrón y un neutrino.

β^- , descomposición de un neutrón que se desintegra en un protón, un electrón y un antineutrino.

Representació dels dos tipus de radiacions beta (+/-) En un procés d'anihilació

Núcleos cargados:

Los núcleos cargados son característicos de los rayos cósmicos galácticos y los eventos de partículas solares y, a excepción de las partículas alfa, no tienen fuentes naturales en la

Tierra. Sin embargo, en el espacio, los protones de muy alta energía, los núcleos de helio y los iones HZE pueden detenerse inicialmente mediante capas relativamente delgadas de protección, ropa o piel. Por otra parte, la interacción resultante generará radiación secundaria. En caso de que colisionara con nuestro tejido biológico, si solo un átomo de tejido es desplazado por un protón energético, la colisión causará más interacciones en el cuerpo. Y a este suceso se le denomina transferencia de energía lineal (LET).

Para tener una idea de este suceso LET se puede visualizar como una bola de billar que golpea a otra conservando el impulso inicial, enviando así a ambas con la energía de la primera bola dividida entre las dos de manera desigual. Pues lo mismo pasa cuando un núcleo cargado golpea un núcleo de movimiento relativamente lento de un objeto en el espacio, se produce LET y las colisiones liberan neutrones, partículas alfa, protones de baja energía y otros núcleos que contribuyen a la dosis total absorbida por el tejido.

Positrones y otros tipos de antimateria:

El positrón o antielectrón es la antipartícula o la contraparte de antimateria del electrón. Cuando un positrón de baja energía choca con un electrón de baja energía, se produce la aniquilación, lo que resulta en su conversión en la energía de dos o más fotones de rayos gamma.

También los positrones pueden generarse por desintegración nuclear por emisión de positrones (a través de interacciones débiles) o por producción de pares a partir de un fotón suficientemente energético. En cuanto a una aplicación de los positrones son las fuentes artificiales comunes de radiación ionizante que se utilizan en las tomografías médicas por tomografía por emisión de positrones (TEP).

Además, como los positrones son partículas cargadas positivamente, también pueden ionizar directamente un átomo a través de las interacciones de Coulomb.

Radiación indirectamente ionizante:

La radiación ionizante indirecta es eléctricamente neutra y, por lo tanto, no interactúa fuertemente con la materia. La mayor parte de los efectos de la ionización se deben a ionizaciones secundarias.

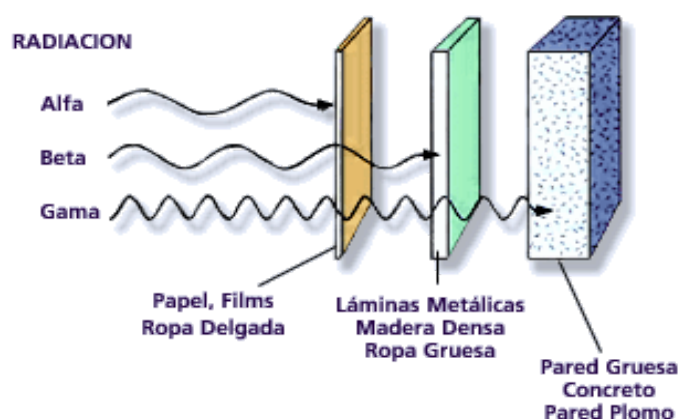
Radiación gamma:

La radiación gamma es un tipo de radiación electromagnética, que por tanto, es capaz de propagarse por el vacío a la velocidad de la luz (c). Y normalmente suelen tener una energía equivalente a un megaelectronvoltio (MeV). La característica de esta radiación es que suele estar ligada a la radiación alfa o beta debido a que cuando se produce una de estas para la estabilidad del núcleo el diferencial de energía que se pierde se expulsa en forma de ondas electromagnéticas, en este caso por radiación gamma.

Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa y la beta. Es así, que pueden llegar a causar grave daño al núcleo de las células, por lo cual esta radiación se suele usar para esterilizar equipos médicos y alimentos. Los rayos gamma se producen durante la descomposición gamma, que normalmente ocurre después de que ocurren otras formas de descomposición, como la desintegración alfa o beta.

La descomposición gamma también puede seguir reacciones nucleares como la captura de neutrones, la fisión nuclear o la fusión nuclear. La desintegración gamma es también un modo de relajación de muchos estados excitados de núcleos atómicos que siguen a otros

tipos de desintegración radiactiva, como la desintegración beta, siempre que estos estados posean el componente necesario del espín nuclear.



3.-Detector de partícules Timepix:

Detector de partícules Timepix

Introducció

El detector de partícules o chip Medipix/Timepix creat pel CERN és utilitzat, normalment amb aplicacions mèdiques, anàlisi de materials, òptica o, fins i tot, programes espacials. No obstant, un ajust del dispositiu permet que aquest sigui utilitzat per a l'estudi de partícules radioactives (com és el nostre cas).

El detector consta d'un detector de píxels montat pel chip Medipix (pixelat $300\ \mu\text{m}$ Si, 256×256 píxeles, $55\ \mu\text{m}$ de to). A diferència dels detectors tradicionals com els tubs Geiger, el detector ofereix una visualització de les partícules en temps real, sent capaç de reconèixer els diferents tipus de partícules, mostrar pistes de partícules i funcionar com a espectòmetre (permet mesurar l'energia dipositada per cada partícula).

Parts

El dispositiu consta diverses parts:

- Una tapa protectora (controlada amb una palanca)
- Connector USB
- Recobriments de l'electrònica amb forma rectangular
- Placa detectora de doble capa (composat per un sensor, un chip electrònic, metall, una capa de silici, un aïllant, un diode i un elèctrode de tensió de polarització)



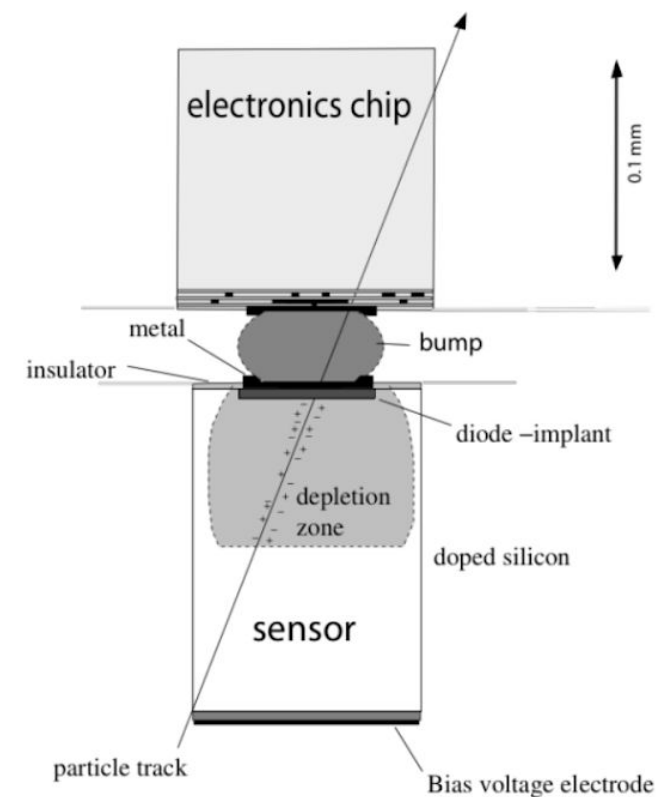
Fig. 1 Parts que conformen el detector Medipix

Funcionament

Funcionament de detectors de partícules híbrids

Els detectors de píxels híbrids tenen dues capes. La primera és un material pixelat, semi-conductor, on la radiació ionitzant que es transmet diposita determinades quantitats d'energia depenent del camí i l'impuls de les partícules mentre es recorre el material. Aquesta energia es pot mesurar mitjançant processos de ionització en el material semiconductor amb una matriu d'amplitud sensible a les càrreges. La informació podrà ser representada gràcies a un xip de lectura.

Aquest xip de lectura representa la segona capa i està segmentada en el mateix nombre de píxels. Les dues capes estan connectades una per una als píxels corresponents del sensor a través de solapaments de soldadura.



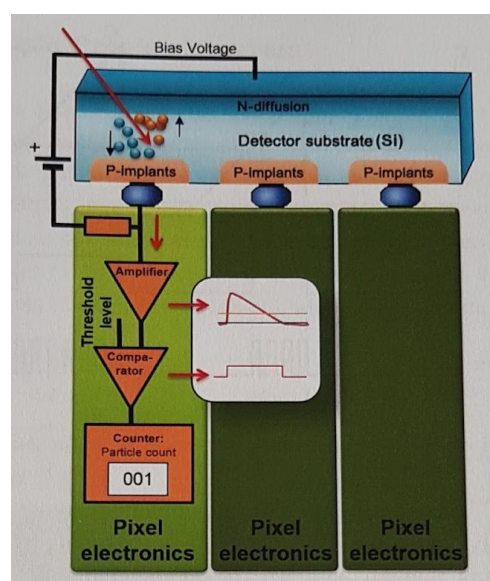
Principi de detecció

L'energia que diposita la radiació ionitzant allibera parells de forats d'electrons a la zona d'esgotament d'un o diversos píxels en el material del sensor (fet de silici en el cas del nostre detector).

Els electrons o forats es recullen a través d'un camp elèctric aplicat externament, convertit en polsos de voltatge i digitalitzats per Timepix. (Aquí podria dir alguna cosa més, però entro dins de software).

Electrònica

En aplicar una font de radiació, els electrons i els forats generats són atrets per electrodes que generen un pols de corrent elèctric. El pols de corrent elèctric que es crea després de l'impacte d'una partícula ionitzant es converteix en un pols de tensió i s'amplifica a l'amplificador. El pols amplificat continua amb una entrada d'un comparador que, en funció de la mida del pols, decideix comptar o ignorar l'impacte de la partícula. La segona entrada de comparador s'estableix en un nivell de separació definit anomenat llindar de detecció. Si el pols entrant és superior al nivell del llindar, es transmet un pols posterior a la sortida del comparador i es registra al comptador (mode comptador) o s'utilitza per determinar l'energia absorbida (mode espectròmetre). Un impuls inferior al nivell de llindar no es traslladarà a la sortida i serà ignorat. Establir el llindar pot limitar la detecció de pulsacions dèbils, que significa limitar el soroll, ja que poden donar-se senyals que no siguin polsos, però tindran un voltatge inferior. El nivell mínim de llindar correspon a la detecció d'energies de 3,5 keV en un píxel.



El cátode comú (a la part superior) està connectat a un potencial elèctric més alt que els ànodes del píxel inferior, el que significa que tots els díodes estan connectats en sentit invers. Cada píxel es connecta al xip de lectura mitjançant una bola de connexió.

L'operació del mode comptador i el mode espectròmetre es pot veure a la imatge. El gràfic de tensió en funció mostra tres polsos entrants marcats A, B i C, cadascun amb càrregues generades (és a dir, energia absorbida). El pols A es correspon amb la menor energia absorbida i el pols C correspon a l'energia més alta absorbida. L'energia corresponent al pols A és baixa i, per tant, el pols no assoleix el nivell de llindar i no és registrat pel comptador. Els polsos B i C superen el llindar i cada un ha incrementat el valor del comptador en un.

En el mode espectròmetre, el detector assigna un número de cicles a cada pols basat en el principi ToT (temps sobre el llindar). D'aquesta manera, un oscil·lador envia un senyal amb una freqüència definida i el comptador compta quants cicles han passat no només a l'amplada del pols, sinó també a l'alçada d'aquest. Per tant, compta l'energia absorbida. Si realitzem un calibratge energètic del detector (comparant els polsos creats per fonts de radiació a la seva energia coneguda), podem (utilitzant una corba de calibratge) mostrar energies directament en kiloelectronvolts. Es pot veure el procés a la següent imatge:

