

CONSTRUCCIÓ D'UN
DISPOSITIU PER CANVIAR
L'ORIENTACIÓ DELS
DETECTORS MINIPIX

- ENDINSAMENT EN LA TEORIA DE FÍSICA DE PARTÍCULES -

NOM: Esther Salvador Martínez

TUTOR TR: Dani Parcerises

CURS: 2019-2020 - Sagrada Família Gavà

RESUM

Este trabajo abarca muchos temas de la física de partículas. Es un tema poco tocado en el temario de física hecho hasta el momento, así que capta mucho interés. Se habla de la física moderna y se da una base conceptual de esta. Los objetivos principales son alcanzar los conocimientos base de esta rama de la física y complementarlo con diversas experiencias que permitan entenderla con mayor claridad. Además se pretende diseñar y construir un dispositivo que permita modificar la orientación del detector de partículas MiniPIX proporcionado por el CERN y guarde cada detección en el ordenador para que después un compañero pueda analizar dichos datos. El trabajo, pues, tiene una parte teórica apoyada en varios casos con experiencias hechas en el colegio, en la UB; y una parte que explica toda la construcción y la programación del dispositivo comentado. A partir de la parte teórica y la parte práctica el objetivo de ampliar el conocimiento sobre estos temas ha quedado cumplido, y el dispositivo se ha podido usar en varias ocasiones con éxito.

ABSTRACT

Since particle physics it's something that isn't really studied until late high school, it's a topic that's unknown and quite interesting. Here you can find a small introduction to modern physics. The goals planned for this year were to understand this part of the world of physics with written and experimental work to make it clearer. The most important goal was to design and make a device that could make the particle detector, provided by the CERN, move as it was wished to and get the data saved to the computer automatically so a co-worker could work with it. The whole project consists of an introduction to the theory of modern physics, an experimental part to get a better understanding of the theory, and a design and making part of the device described. The first goal of understanding and expand the knowledge of modern physics is cleared and the device has been successfully used on various occasions.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	5
LA LLUM (INTRODUCCIÓ)	7
TEORIA DE MAXWELL	8
FÍSICA MODERNA	9
RADIACIÓ DE COS NEGRE	9
EFECTE FOTOELÈCTRIC	11
<i>Aportació d'Einstein a l'efecte fotoelèctric</i>	12
L'EFECTE COMPTON	12
DUALITAT ONA-CORPUSCLE. INTRODUCCIÓ A LA MECÀNICA QUÀNTICA	13
PRINCIPI D'INCERTESA	13
INTRODUCCIÓ A LA TEORIA DE LA RELATIVITAT	13
CONCLUSIÓ	14
LLUM	15
INTRODUCCIÓ A LA DUALITAT DE LA LLUM	15
INTERFERÈNCIA DE LA LLUM	15
DIFRACCIÓ DE LA LLUM	16
RADIACIONS IONITZANTS	18
<i>Radioactivitat</i>	19
RADIACIONS NO IONITZANTS	19
<i>Microones i radiofreqüències</i>	19
<i>Radiacions òptiques</i>	20
TIPUS DE PARTÍCULES ELEMENTALS	21
<i>Partícules materials (Fermions)</i>	22
<i>Partícules portadores de força (Bosons gauge)</i>	23
<i>Bosó de Higgs</i>	24
ANTIMATÈRIA	24
<i>Càmeres de boira</i>	25

RADIACIÓ DE FONTS	26
RAIGS X	27
<i>Característiques dels raigs X</i>	27
<i>Utilitat dels raigs X</i>	28
<i>Absorció de raigs X</i>	29
FUNCIONAMENT I DADES TÈCNiques	30
MATERIALS I LA SEVA NATURALESa.....	32
CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE DETECTORS DE RADIACIÓ	33
INFORME DEL DISPOSITIU - PROGRAMA DE L'ARDUINO	36
DISPOSITIU – PART FÍSICA.....	36
PROGRAMA – PART DE PROGRAMACIÓ.....	42
<i>Informació bàsica d'ARDUINO</i>	42
<i>Codi</i>	44
<i>Programació PIXet PRO</i>	56
REALITZACIÓ DE L'EXPERIÈNCIA	58
CONCLUSIONS	60
AGRAÏMENTS I FETS CURIOSOS.....	61
REFERÈNCIES	62
ANNEXOS	69

INTRODUCCIÓ

Va ser proposat pel professor de física un projecte en el qual es podia tenir contacte de primera mà amb un detector de partícules MiniPIX proporcionat pel CERN (gràcies a en Rafael Ballabriga, un exalumne). Això em va cridar l'atenció i em va semblar interessant i una bona oportunitat fer el treball sobre aquest tema. La física moderna és un tema molt ampli del qual sabia molt poc. M'encurioseix i vaig pensar que podria investigar i aprendre moltes coses, així que em va semblar una bona idea decantar-me per aquest projecte.

M'agrada molt veure com funcionen les coses i en què es basen i què cal tenir en compte per fer-les. Per això he volgut centrar-me una mica més en el detector en si. He volgut saber com funciona, de què està fet, quins tipus de detectors hi ha, quin tipus de respostes donen i com les donen, etc. A més per comprovar la radiació en diferents angles he proposat com a objectiu principal d'aquest projecte construir un dispositiu capaç de canviar l'orientació del detector i de guardar les dades d'aquest a l'ordinador. Per tant aquest objectiu està basat en una part mecànica (la construcció de l'aparell) i en una part de programació amb ARDUINO per tal de proporcionar orientació al detector i connexió d'aquest amb l'ordinador. Aquest objectiu ha estat un repte que en un inici vaig pensar que m'ajudaria a veure com una idea passa per diferents fases fins que es converteix en una realitat. És un fet que m'ha cridat sempre l'atenció i ara he tingut l'oportunitat de fer-ho jo.

Al mateix temps vaig pensar que podria ser una oportunitat per comprovar si l'aparell permetia comprovar que l'espai és isotròpic. A més les partícules no arriben sempre en el mateix ordre ni en el mateix període de temps. Aquesta aleatorietat de les partícules també és un punt que vaig trobar interessant investigar.

Així doncs en general els meus objectius són estudiar els fonaments de la física moderna a partir d'apartats com la teoria de Maxwell i la radiació de cos negre, així com l'efecte fotoelèctric i l'aportació d'Einstein a aquest, l'efecte Compton, la dualitat ona-corpúscle, el principi d'incertesa i la teoria de la relativitat. També estudiar la aleatorietat de les partícules i els números aleatoris, la isotropia de l'espai pel que fa a la radiació de fons, la radiació i els tipus de partícules que hi ha (en concret buscar informació sobre les partícules de Higgs), informar-me sobre la radiació de fons que detecta el detector MiniPIX (descoberta per A. Penzias i R. Wilson) i els raigs X, estudiar la llum i la seva doble naturalesa i fer una introducció a la teoria nuclear i els tipus de reactors que hi ha.

Com a objectiu principal tinc dissenyar, construir i programar un dispositiu que sigui capaç de modificar l'orientació d'un detector MiniPIX per tal d'enregistrar dades a diferents graus. I també m'agradaria entendre com funciona el detector, saber de què està fet i quin tipus de detectors hi ha.

Com que he pogut tenir accés a la documentació de l'IRIS, també faré un llistat classificant aquesta informació en apartats.

LA LLUM (INTRODUCCIÓ)

Per entendre el que fa el detector i les partícules amb les que es treballen és necessari assolir una base teòrica:

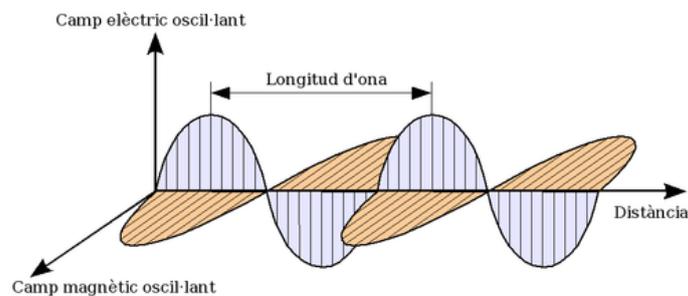
Des del segle VI a.C. que s'ha intentat donar una explicació lògica i raonada del que és la llum i del que està formada.

Pitàgores va postular el que es coneix com el model corpuscular, on la llum era un feix de partícules. Aquesta hipòtesi va quedar intocada fins al segle XVII. Al segle XVII estaven sent estudiats fenòmens associats a les ones; així es va proposar la teoria del model ondulatori per a la llum. Va ser llavors quan es va entrar en conflicte: uns, com per exemple Newton (s. XVIII), estudiaven la llum amb un model corpuscular, com si fos una partícula amb trajectòria definida i ben localitzada, mentre que uns altres l'estudiaven com a ona amb moviments ondulatoris i per tant deslocalitzats del moviment, com per exemple Hooke i Huygens. A aquest conflicte se li va sumar el misteri de la seva velocitat: o bé era infinita o bé era molt gran, el que va dificultar el rebuig dels models.

Així es van començar a donar arguments a favor i en contra d'ambdós models fins que l'experiment de Young al segle XIX va demostrar el comportament ondulatori de la llum, fent que el model corpuscular quedés rebutjat donat el pensament de l'època.

L'estudi de la llum es va començar a difondre. A mitjans de segle Fresnel va demostrar que la llum consistia en una ona transversal i, com tota ona mecànica, recorria per un medi concret, en aquest cas l'èter.

L'aparició de l'èter fou força xocant ja que no havia res que demostrés la seva existència a més de la llum. Aquesta idea, però, va canviar a partir de l'any 1861 amb James Clerk Maxwell que va descobrir una relació entre els fenòmens elèctrics i magnètics, i la propagació de la llum. La teoria ondulatoria de la llum va quedar llavors inclosa dins les noves ones electromagnètiques.

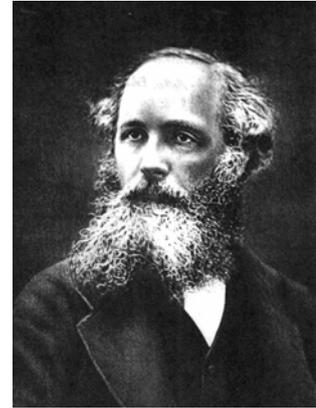


Representació d'una ona electromagnètica

TEORIA DE MAXWELL

En aquell moment ja es sabia que les propietats elèctriques i magnètiques de la matèria eren originades per la càrrega elèctrica. El que va fer Maxwell va ser unir els dos camps en un de sol: el camp electromagnètic. Va descobrir que l'ona transversal que havia descrit Fresnel no era altra cosa que la combinació de les lleis dels camps elèctric i magnètics, que feia resultar una equació similar a la d'una ona mecànica transversal. El que hi havia en aquest cas era una oscil·lació del camp elèctric amb el magnètic, tots dos perpendiculars, transmesa a una velocitat que coincidia amb la de la llum, coneguda ja en aquella època. Així la llum va quedar descrita com un tipus d'ona electromagnètica.

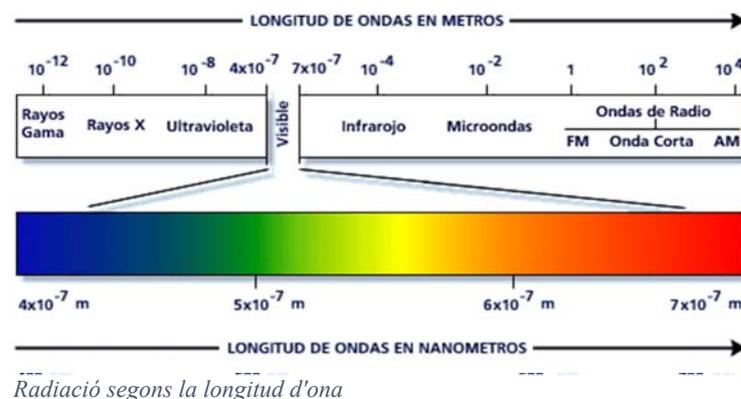
Cap al 1887 Herz va demostrar amb un experiment que era possible generar altres ones electromagnètiques amb longituds d'ona diferents a les de la llum.



James Clerk Maxwell

Al conjunt de totes les ones electromagnètiques se li dona el nom d'espectre electromagnètic i quan un cos emet ones electromagnètiques es diu que aquest cos emet radiació.

Aquestes radiacions electromagnètiques es poden trobar a qualsevol lloc donada la societat tecnificada que tenim avui dia. Es poden classificar en dos tipus: les ionitzants, que són perjudicials per a la salut dels éssers vius ja que tenen una freqüència elevada ($8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 10^{24} \text{ Hz}$) i són capaces de trencar els enllaços dels àtoms i per tant de les cèl·lules; i les no ionitzants, que està per tot el nostre entorn i que al no ser tan energètiques, donada la seva baixa freqüència, no trenquen enllaços atòmics.



FÍSICA MODERNA

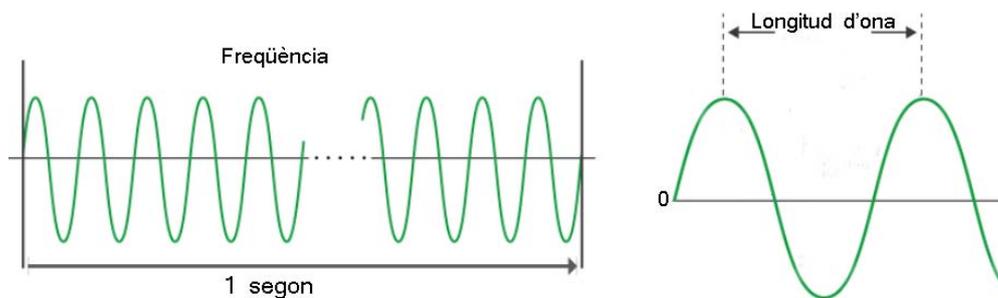
A finals del segle XIX s'estudiava la propagació de la radiació electromagnètica i la seva interacció amb la matèria. Es va descobrir que en circumstàncies donades la radiació era emesa o absorbida per la matèria com si fos una partícula, entrant en conflicte amb la teoria de Maxwell que deia que es propagava mitjançant ones. Així doncs es va determinar que la matèria es comportava a vegades com a ona amb les seves propietats i d'altres, sobretot quan interactuava amb la matèria, com a partícula amb les seves propietats. Aquest comportament com a partícula quedava mostrat amb fenòmens com l'emissió i absorció de la radiació electromagnètica per un cos negre, l'efecte fotoelèctric i l'efecte Compton.

A partir d'aquí es va determinar que totes les partícules presenten un caràcter ona-partícula que juntament amb la teoria de la relativitat i els avenços en l'estudi de la radioactivitat van fer caure la física clàssica i van donar lloc a la física moderna que es coneix i s'utilitza avui dia.

RADIACIÓ DE COS NEGRE

Els cossos absorbeixen o reflecteixen radiació fent que se'ls vegi d'un color o d'un altre. Un cos de color blau absorbirà totes les longituds d'ona dins l'espectre de llum visible i reflectirà la corresponent al color blau.

Tot cos emet ones electromagnètiques quan està a una temperatura determinada. Aquest cos té un espectre característic que depèn d'aquesta temperatura. Quan escalfem un cos s'amplia el seu espectre d'emissió i emet radiació de freqüències cada vegada majors (longitud d'ona menors). Això fa canviar el seu espectre característic i cada cos canvia a un color diferent quan s'escalfa donades les seves propietats pròpies.

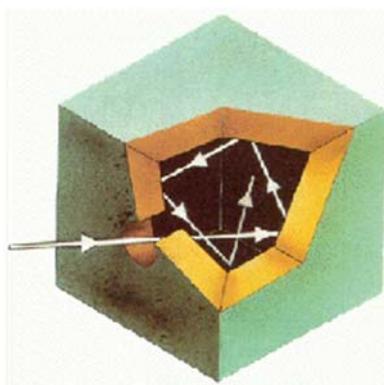


Freqüència i longitud d'ona

Els físics de finals del segle XX buscaven caracteritzar l'estat de la matèria a partir de la radiació electromagnètica, per això van imaginar un cos ideal al que van anomenar cos negre, inspirat inicialment en un forn.

El cos negre és un cos amb un petit forat que absorbeix tota la radiació que incideix sobre ell sense reflectir-la de manera que al final queda completament absorbida pel cos. Així la radiació electromagnètica queda caracteritzada només per la temperatura del cos, sense importar la seva natura (material, forma, dimensions), quan està en equilibri tèrmic amb un cos negre. El forat actua com a emissor perfecte des d'on les radiacions que surten mostren totes les longituds d'ona presents a aquella temperatura dins el recipient. D'aquesta manera el cos negre desenvolupa un espectre de radiació universal que només depèn de la temperatura.

Aquesta radiació es pot visualitzar en un gràfic d'energia irradiada en funció de la longitud d'ona, on la radiació de cos negre correspon a la corba experimental resultant.



Cos negre

Wilhelm Wien a partir de mètodes i conceptes estadístics va declarar que a mesura que més s'escalfava el recipient, el màxim de radiació es movia cap a longituds d'ona més curtes. Això significava que el producte entre el màxim de radiació i la temperatura d'un cos negre era sempre constant i per tant amb el valor de la constant es podria calcular la longitud d'ona màxima per a qualsevol temperatura.

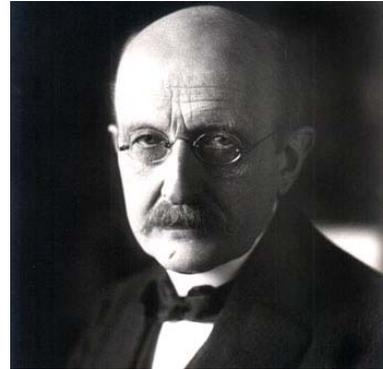
Aquesta llei es va anomenar llei del desplaçament i va ser ben acollida per la comunitat científica. Més endavant, però, es va comprovar que el resultat que aquesta llei donava per a freqüències d'ona més elevades era impossible i no tenia cap mena de sentit. Això va impulsar el que es va anomenar catàstrofe de l'ultraviolat.

Planck fou qui va solucionar el problema teòric, però va suposar que l'energia d'una ona electromagnètica no és emesa de manera contínua, sinó en petits paquets que va anomenar quàntum. L'expressió de Planck fou:

$$E = h \cdot f$$

On E és l'energia d'un quàntum, f és la freqüència de la radiació i h és la constant de Planck ($6,62 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$).

Planck no considerava que l'energia fos quantitzada, ell creia que aquests paquets d'energia només es corresponien a l'energia que podia absorbir o emetre i s'havia de considerar més com un artifici matemàtic que com una realitat física. Einstein, però, sí que va adoptar la idea dels quàntums com a realitat física i després de revisar la catàstrofe de l'ultraviolat va dir que si el problema del cos negre era vist des d'un punt de vista clàssic sempre s'arribaria a una conclusió on l'ultraviolat donés problemes. El terreny per a la mecànica quàntica es començava a preparar.



Max Planck

EFFECTE FOTOELÈCTRIC

Hertz després de demostrar experimentalment que les ones electromagnètiques existien va observar què passava quan col·locava dos elèctrodes metàl·lics a certa distància dins un tub hermètic de vidre al buit que estaven connectats a una certa diferència de potencial. En aquest circuit obert no hauria de passar corrent, però quan la diferència de potencial era prou gran els electrons del càtode eren arrencats cap a l'ànode tancant el circuit. Els electrons viatjaven pel buit i depenent del material dels elèctrodes el tub s'il·luminava (llum visible). També va observar el que després es va anomenar efecte fotoelèctric: si s'il·luminava el càtode amb radiació ultraviolada també passava el corrent independentment de la magnitud de la diferència de potencial. Això es donava perquè les ones electromagnètiques aportaven suficient energia als electrons superficials del metall de l'elèctrode com per posar-se en moviment.

Aquest experiment demostrava errònia part de la teoria de Maxwell que deia que l'energia de la radiació era absorbida pels electrons de manera contínua. Això deixava lloc a que la teoria dels quanta fos cada cop més acceptada.

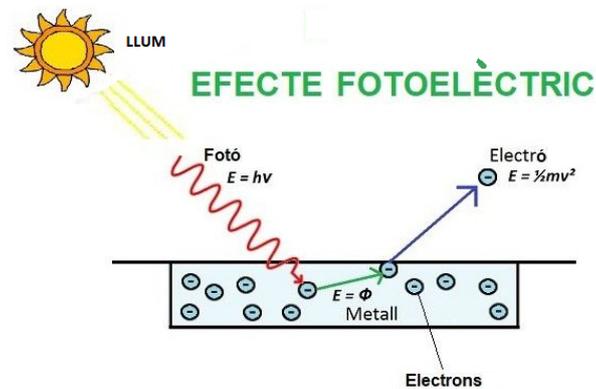
Fou Einstein qui va explicar i formular la teoria a aquests fets experimentals.

Aportació d'Einstein a l'efecte fotoelèctric

Einstein va acceptar la idea dels paquets d'energia de Planck i els va anomenar fotons. Tota radiació electromagnètica estava organitzada per fotons i els fotons es transmetien en forma d'ones electromagnètiques a la velocitat de la llum ($3 \cdot 10^8$ m/s), però quan interactuaven amb la matèria ho feien en forma de partícula i el que s'absorbia o s'emetia per aquesta matèria eren paquets d'energia, quanta.

D'aquesta manera els electrons dels elèctrodes en l'experiment d'Hertz el que feien era absorbir l'energia dels fotons (radiació) en quantitat suficient (treball d'extracció W_0) com per alliberar-se del metall i passar al càtode (energia cinètica E_C) tancant el circuit. Tot això rebia la fórmula següent:

$$E = E_C + W_0$$



Efecte fotoelèctric

Desenvolupada segons l'expressió de Planck quedava de la següent manera:

$$hf = \frac{1}{2}mv^2 + hf_0$$

Es torna a mostrar un altre cop la dualitat d'ona-partícula de la llum.

L'EFECTE COMPTON

Compton va determinar la longitud d'ona del fotó i va mostrar validesa sobre les idees d'Einstein sobre la radiació electromagnètica.

Mentre estudiava l'absorció de raigs X de materials que contenen carboni va observar que la freqüència de la radiació incident era major de la difosa pel material que a més alliberava electrons. Desenvolupant amb la fórmula donada per Einstein, basada en Planck, tenint en compte que la radiació són fotons va arribar a la conclusió esmentada al principi.

DUALITAT ONA-CORPUSCLE. INTRODUCCIÓ A LA MECÀNICA QUÀNTICA

Amb l'aportació d'Einstein de l'efecte fotoelèctric va tornar la idea de la llum com a partícula sense lloc a rebutjar, però, la llum com a ona.

Cap al 1923 Louis de Broglie va dir que no només es donava amb els fotons aquest caràcter sinó també en totes les partícules elementals. Això va ser comprovat més endavant experimentalment.

Així va entrar al món una nova mecànica, la mecànica quàntica, donada per aquesta dualitat ona-corpúscle de la matèria i radiació. Segons aquesta nova teoria constatava que les partícules eren paquets d'ones.

Louis de Broglie també va aportar la longitud d'ona d'una partícula, a partir de la qual es pot deduir la quantitat de moviment dels fotons.

PRINCIPI D'INCERTESA

L'any 1927 Heisenberg va formular el principi d'incertesa que ens diu que és impossible saber el punt exacte en el que està una partícula i la quantitat de moviment que conté, però es pot establir regions on és probable que estigui.

Aquest sistema d'incertesa es dona pel fet que no es pot observar el món microscòpic sense influir en els resultats ja que per observar necessitem llum que no deixa de ser fotons i que al cap i a la fi són energia.



Werner Heisenberg

Aquest sistema decau quan les magnituds són macroscòpiques, on és la mecànica clàssica la que regeix les lleis. De la mateixa manera que la mecànica clàssica decau per a unitats microscòpiques on regeix la mecànica quàntica. Per tant quan parlem de partícules s'ha d'utilitzar la mecànica quàntica.

Per aquest mateix motiu no es pot observar com funciona la dualitat de la llum ja que en el moment en que observem canvien els resultats que s'obtenien en un principi.

INTRODUCCIÓ A LA TEORIA DE LA RELATIVITAT

Després que l'experiment de Michelson-Morley l'any 1887 refutés la idea de l'èter es va saber que la física clàssica no podia ser aplicada sobre la llum i la seva naturalesa, i també es va declarar que la velocitat de la llum era una constant universal que no depenia de la velocitat del seu observador.

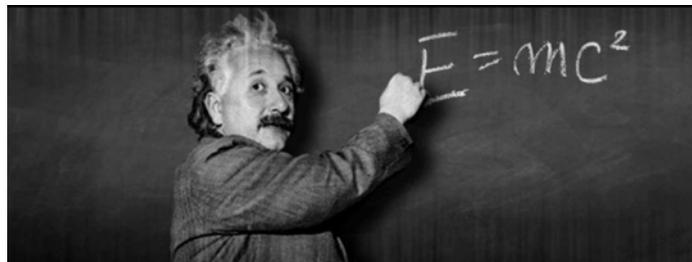
Al segle XX es va donar una revolució científica protagonitzada en gran part per Einstein i la seva teoria de la relativitat, on deixava noves concepcions físiques que es separaven de la física clàssica. L'èter havia quedat refutat completament i donava lloc a una nova era.

La teoria de la relativitat es va separar en dues branques segons la seva aplicació: La teoria de la relativitat restringida (fenòmens de moviment uniforme) i la teoria de la relativitat general (per a sistemes de referència accelerats).

Amb el segon postulat, que afirma que la velocitat de la llum és invariable sigui quin sigui el sistema de referència, es demostra que el temps és relatiu i que depèn del sistema de referència, trencant la idea de Newton de l'absolutisme del temps.

Una altra conclusió que va treure d'aquesta teoria és que la massa i l'energia són equivalents. Einstein demostra que la massa d'un cos augmenta amb la seva velocitat, dit d'una altra manera, quan s'augmenta l'energia cinètica d'un cos al augmentar la seva velocitat, també s'augmenta la seva massa. Aquest fet, però, només es dona en condicions de cossos a una velocitat propera o igual a la de la llum, ja que no es pot anar més ràpid que la llum. Així un cos de massa m contindrà una quantitat neta d'energia E donada per:

$$E = mc^2$$



Albert Einstein

CONCLUSIÓ

La llum és energia. La seva naturalesa és encara un misteri, però es sap que es trasllada en forma d'ona electromagnètica i interactua amb la matèria en forma de partícula. També es sap que emet energia de forma discontinua en "paquets" anomenats quanta. El conjunt de radiació electromagnètica es comporta d'aquesta manera i pren el nom de fotons de llum que canvien de propietats segons la freqüència.

La llum té una velocitat fixa per a qualsevol observador, en relació amb la llum tot és relatiu, fins i tot la massa dels cossos que són constants en el mètode clàssic. Per això, per treballar amb la llum, donada la seva velocitat, no podem recórrer al mètode clàssic, hem d'utilitzar el mètode relativista.

LLUM

INTRODUCCIÓ A LA DUALITAT DE LA LLUM

Avui dia sabem que la llum es pot comportar com a partícula però també com a ona segons la situació. Durant el segle XVII, però, hi havia dos models, dues hipòtesis de la naturalesa de la llum: el model corpuscular i el model ondulatori. L'afirmació d'un implicava la negació de l'altre.

El model corpuscular està basat en els treballs de Newton principalment, i aquest proposava que la llum estava formada per partícules i es propagava en línia recta. Va explicar els fenòmens de la reflexió i la refracció per demostrar aquest model. Com que encara no es sabia la velocitat de la llum, era un model difícil de refutar, i va ser acceptat durant tot el segle XVIII.

Així però, aquest model no explicava les interferències lluminoses, els fenòmens de difracció i el fet que els cossos perdien massa a l'emetre corpuscles. Per aquest motiu aquest model no era perfecte, i Hooke i Huygens van criticar aquest model i van defensar el model ondulatori.

El model ondulatori de la llum, que estava refutat pel model de Newton, es basa en els treballs de Hooke i Huygens. Segons Huygens i la seva teoria, el Principi de Huygens, la llum era una ona si es partia del fet que cada punt lluminós d'un front d'ones pot considerar-se una nova font d'ones. Així va poder explicar fets propis de les ones com la reflexió i la refracció de la llum. Tot i això, tota ona es desplaçava per un medi i per tant la llum, que es desplaçava pel buit, no podia ser una ona i el model corpuscular quedava demostrat per sobre d'aquest.

No fou fins a principis del segle XIX que Thomas Young va demostrar experimentalment que la llum es comportava com a ona demostrant que els raigs de llum interferien entre si, combinant-se i cancel·lant-se entre si; propi de les ones.

INTERFERÈNCIA DE LA LLUM

La llum sofreix interferència quan en un mateix espai es superposen dues ones. Aquestes sofreixen una pertorbació que s'analitza amb el principi de superposició, el qual consta que dues ones tenen pertorbació mentre estan juntes, però al separar-se tornaran a tenir les mateixes característiques prèvies a la pertorbació.

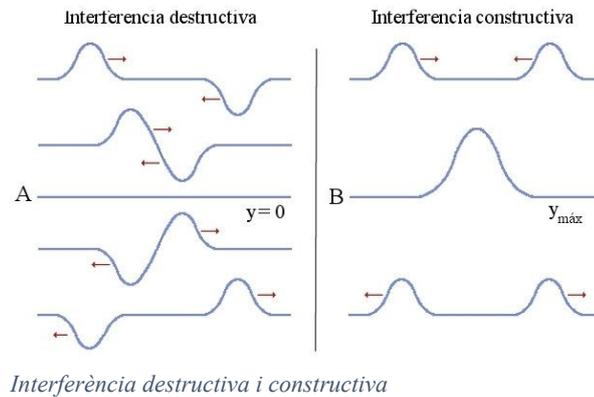
Hi ha dos tipus d'interferència:

- Constructiva

Mitjançant una interferència constructiva l'amplitud de les dues ones es suma.

- Destructiva

Mitjançant una interferència destructiva l'amplitud de les dues ones es resta i s'anul·len



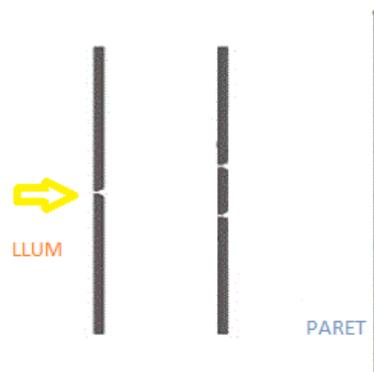
DIFRACCIÓ DE LA LLUM

Fenomen en el que es formen nous fronts d'ona al passar una ona per una esclatxa de longitud menor o igual a la longitud d'ona d'aquesta.

A partir d'aquests fenòmens T. Young va demostrar que la llum era ona i no partícula, refutant el model corpuscular de Newton.

Ho va fer de la següent manera:

Va utilitzar una esclatxa rectangular molt estreta davant una font intensa de llum. El raig de llum que sortia per l'altre costat de l'esclatxa incidia sobre una paret opaca amb dues esclatxes molt petites molt poc separades entre si, tal i com es mostra a la imatge:

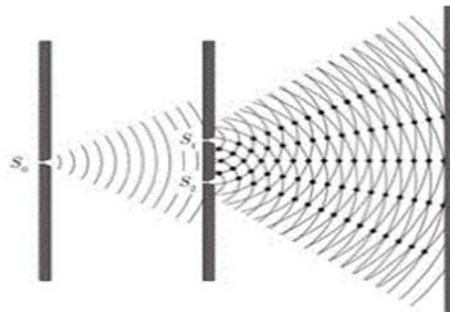


Muntatge de l'experiment de Young

D'aquesta manera hi haurà interferències constructives quan al passar per les dues segones esclatxes les ones es dispersin en totes direccions, entrant en fase, on les amplituds d'ona es sumen, resultant una àrea brillant al centre de la paret. També seran constructives quan les trajectòries dels dos raigs difereixin en una longitud d'ona.

Per altra banda les interferències destructives es donaran quan un raig recorri una distància major a mitja longitud d'ona. Les ones estarien fora de fase i la suma d'amplituds donaria zero, resultant franges fosques i brillants a la paret.

Young va observar que al fer l'experiment resultava un diagrama d'interferència en comptes de dues marques (que demostraria el model corpuscular). Aquest fet demostrava que la llum era una ona que seguint el principi de Huygens sortia amb la mateixa fase de les dues esclatxes.



Resultat de l'experiment de Young

Aquest experiment que Thomas Young va fer per demostrar-ho ha estat modificat i recreat per aquest projecte i es pot veure el seu informe en l'apartat d'annexos, en l'annex 2.

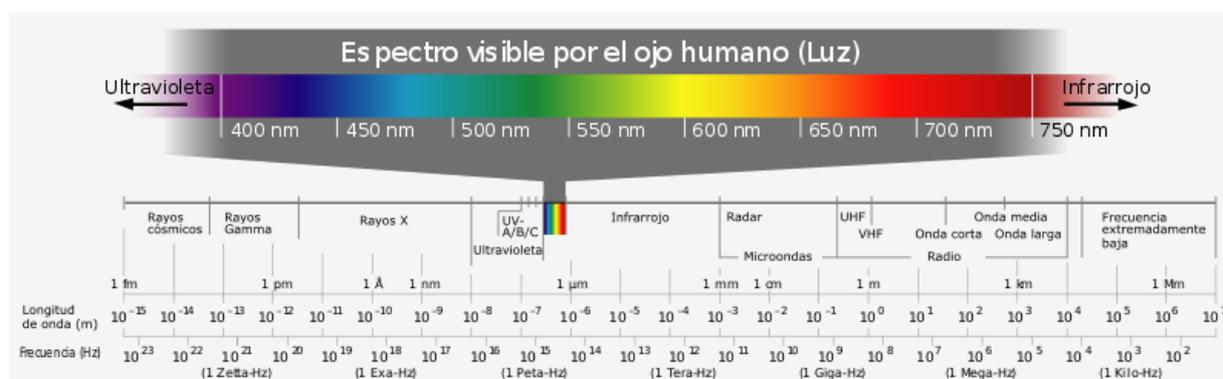
Aquest resultat va fer que el model corpuscular proposat per Newton fos rebutjat. A principis de segle XX, però, va aparèixer un nou model on es deia que la llum podia actuar tant com a ona com a partícula. Aquest fet serà explicat per Einstein i és un dels punts on es basarà la física moderna.

RADIACIÓ

La radiació és l'emissió, propagació i transferència d'energia en qualsevol medi.

La radiació es dona naturalment de diferents formes, sigui en partícules o en ones electromagnètiques, i l'ésser humà ha estat capaç de provocar-la i utilitzar-la (ràdio, mòbil, microones, radiografies).

La majoria de radiació es dona mitjançant ones electromagnètiques. En aquests casos, mentre més gran sigui la freqüència de radiació, major energia portarà (basant-nos en $E=f \cdot h$; on h és la constant de Plank). Segons aquesta energia, aquesta radiació electromagnètica interactua de forma diferent amb la matèria. Si s'organitzen per energia s'obté l'espectre electromagnètic, com ja s'ha esmentat en apartats anteriors:



Espectre electromagnètic

L'espectre electromagnètic es divideix en rajos còsmics, rajos gamma, rajos x, rajos ultraviolats, llum visible, rajos infrarojos, microones i radiofreqüència segons l'energia que porten. Els rajos còsmics són els més energètics, mentre que les ones de ràdio són molt poc energètiques. Segons si tenen més o menys energia, si poden provocar canvis en els àtoms interaccionats amb aquesta energia o no, es classifiquen en radiacions ionitzants i no ionitzants.

RADIACIONS IONITZANTS

Són les que tenen energia suficient com per ionitzar els àtoms, és a dir, poden trencar enllaços intermoleculars i arrencar electrons dels àtoms. Dins l'espectre electromagnètic són les de major energia (major freqüència, menor longitud d'ona ($f = \frac{c}{\lambda}$; on c = velocitat de la llum), que són dels rajos còsmics als rajos X.

Quan es parla de radiació ionitzant, s'està parlant de radioactivitat.

Radioactivitat

És un fenomen en el qual un àtom de nucli inestable s'estabilitza emetent radiació (raigs de partícules, energia) per aconseguir nuclis més estables de menor massa. Es pot classificar segons la seva càrrega:

- Partícules amb càrrega:
 - o Electrons ràpids (partícules β^- , β^+)
 - o Partícules pesants carregades (partícules α , protons, ions pesats)
 - o Muons (μ^+ , μ^-), taus (τ^+ , τ^-)
- Partícules sense càrrega
 - o Radiació electromagnètica (fotons)(raigs-X, partícules γ)
 - o Neutrons

RADIACIONS NO IONITZANTS

Són les que no tenen prou energia com per canviar l'estructura interna dels àtoms amb els que interaccionen, no poden extreure electrons. Són les corresponents a les altres longituds d'ona. Es classifiquen en:

Microones i radiofreqüències

Tenen una longitud d'ona llarga, entre la dels infraroigs i les de radiofreqüència.

- Microones – Es troben entre 1 m i 1mm de longitud d'ona i no tenen efectes perjudicials per la salut que es coneguin. És necessari que un cos tingui un diàmetre $\geq \frac{\lambda}{10}$ per augmentar la seva temperatura.

Van ser detectades i descobertes el 1965 per Arno Penzias i Robert Wilson. Una teoria diu que les microones són el que queda de les elevades temperatures del Big Bang. Aquestes, però, també es poden generar de manera artificial mitjançant dispositius electrònics. Aquestes ones exciten la molècula d'aigua provocant escalfament. També s'utilitzen per radars, meteorologia, comunicacions via satèl·lit, investigació de l'estructura i propietats de la matèria...

Poden ser detectades amb aparells especialitzats formats per un rectificador de silici connectat a un amplificador i a una pantalla.

- Radiofreqüències – Es troben entre 2mm i 3m de longitud d’ona, són de freqüència molt baixa. Són molt poc energètiques i no provoquen cap tipus de perill en la salut dels éssers vius.

Utilitzen la refracció en la ionosfera per enviar senyals de radio d’un costat del món a un altre. Les senyals de freqüència major a 15 MHz no tenen aquesta capacitat.

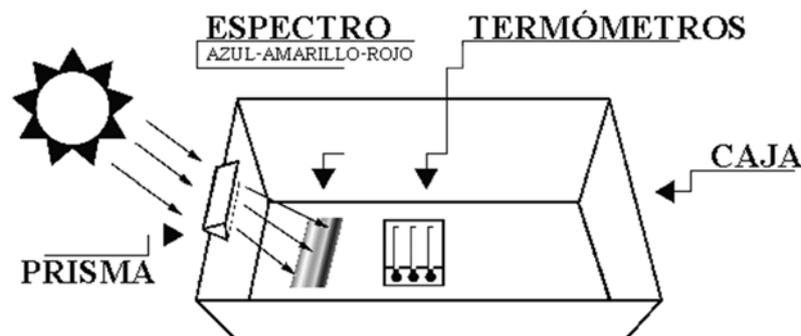
Radiacions òptiques

Són les corresponents a:

- Els rajos infraroigs

Tenen major longitud d’ona que la llum visible i menor que les de microones. S’extenen des de 750nm fins a 1 mm. Tenen poc poder de penetració (poc energètiques) i s’associen a la calor; qualsevol cos a major temperatura del zero absolut, emet radiació infraroja. Així però, poden causar cremades i augment de pigmentació a llarga exposició. Dins l’espectre visible (violeto-roig), es troben per sota del color vermell, per això es diuen infraroigs.

Van ser descoberts per William Herschel (anglès d’origen alemany), qui els va denominar raigs calòrics, el 1800. Els va descobrir intentant mesurar la calor emesa per cada color de l’espectre de llum visible del sol a través d’un prisma de vidre. Va observar que la calor augmentava cap al costat vermell, on no hi havia llum.



Experiment de William Herschel

Els primers detectors captaven la radiació infraroja a través de l’augment de temperatura en el detector absorbent. Es denominaven bolòmetres.

Algunes aplicacions de la detecció d’aquests rajos són: visió nocturna (rep la radiació i es projecta a la pantalla. A major temperatura del cos, més lluminós es veu a la pantalla), al comandament a distància de la televisió (no interfereix amb les senyals televisives), al sector industrial (assecat de pintures, vernissos o paper; termo-fixació de plàstics;

preescalfament de soldadures; curvatura; temperat i laminat del vidre), existeix també una calefacció que utilitza aquests raigs (escalfa els objectes. Hi ha un estalvi d'energia).

- La llum visible

Llum compresa entre els 400 i 700nm. És la part de l'espectre detectable pels ulls. Proporciona energia a les plantes per fer la fotosíntesi. Provoca respostes psicològiques al nostre cos (obertura o tancament de l'ull o l'iris)

- La radiació ultraviolada

A la Terra aquests arriben mitjançant la radiació solar. Està situada entre els raigs X i la de llum visible. Aquests rajos comencen a tenir més energia que els vistos anteriorment i poden ser perjudicials per a la salut, són capaços de provocar cremades a llargs períodes d'exposició, però sense ionitzar. L'índex UV mostra els efectes de la radiació ultraviolada a la pell humana. Va del 0 al 16.

Índex UV				
1 - 2	3 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 16
Baix	Moderat	Alt	Molt alt	Extrem

Segons la seva energia els raigs ultraviolats es classifiquen en:

- UVA – Són la majoria dels que arriben a la Terra. Tenen una longitud d'ona entre 315 i 400 nm. S'anomena llum negra i produeix fluorescència de diverses substàncies
- UVB – Tenen una radiació d'ona de 100-280 nm. Gran part de les emissions ultraviolades formen part d'aquest grup. Té efectes negatius sobre la pell.
- UVC – La seva longitud d'ona varia entre els 100 i els 190 nm. Dins d'aquest tipus està la ultraviolada de buit que no produeix cap canvi biològic.

TIPUS DE PARTÍCULES ELEMENTALS

Es sap des de fa temps que un àtom està format per tres partícules: el protó, el neutró i l'electró.

A finals del segle XX, mitjançant experiments amb acceleradors de partícules al CERN (i altres de similars), es va descobrir que aquestes no eren les partícules fonamentals que formaven tota la matèria, tal i com es pensava prèviament, sinó que aquestes partícules estaven compostes per quarks. Així es va començar a investigar fins arribar a un model de la matèria estàndard.

El model estàndard descriu la matèria i tota realitat existent (excepte la gravetat) segons dos tipus de partícules:

Partícules materials (Fermions)

També anomenats fermions, són aquelles partícules que tenen massa. Cada partícula té una antipartícula que forma la antimatèria. Es classifiquen en tres conjunts: 1a, 2a i 3a generació. Gran part de l'univers està format per partícules de 1a generació. S'anomena matèria exòtica a les de 2a i 3a generació: partícules inestables que acaben decaient a la generació. Els seus espins són semienters.

Hi ha dos tipus de fermions:

- Quarks

No es troben mai aïllats, interaccionen entre ells, tenen càrrega de color i s'uneixen per formar partícules més grans. Aquestes s'anomenen hadrons. Els hadrons es divideixen en barions (tres quarks) i en mesons (quark i antiquark), que formaran els protons o els neutrons. Hi ha sis tipus i cada tipus té una càrrega elèctrica fraccionària de l'electró.

- Leptons

Són partícules molt lleugeres que poden existir aïllats. Hi ha sis tipus, tres amb càrrega elèctrica i tres sense. Un exemple pot ser els electrons o els muons.

Resumint:

FERMIONS				
		1a generació	2a generació	3a generació
QUARKS	MASSA	2,3 MeV/c ²	1,275 MeV/c ²	173,07 MeV/c ²
	CÀRREGA	2/3	2/3	2/3
	SPIN	½	½	½
		DALT	ENCANT	CIM
	MASSA	4,8 MeV/c ²	95 MeV/c ²	4,18 GeV/c ²
	CÀRREGA	-1/3	-1/3	-1/3
	SPIN	½	½	½
		BAIX	ESTRANY	FONS
LEPTONS	MASSA	0,511 MeV/c ²	106,7 MeV/c ²	1777 MeV/c ²
	CÀRREGA	-1	-1	-1
	SPIN	½	½	½
		ELECTRÓ	MUÓ	TAU
	MASSA	<2,2 eV/c ²	<0,17 MeV/c ²	<15,5 MeV/c ²
	CÀRREGA	0	0	0
	SPIN	½	½	½
		NEUTRÍ ELECTRÒNIC	NEUTRÍ MUÒNIC	NEUTRÍ TAUTÒNIC
		Matèria ordinària	Matèria exòtica	

Resum classificatiu dels fermions

Partícules portadores de força (Bosons gauge)

Són les responsables de les interaccions dels fermions. Tenen espín enter. Hi ha quatre tipus principalment, i després s'esmentaren les partícules de Higgs, que són escalar, és a dir, el seu spin val 0. Aquestes últimes s'explicaran amb més atenció en el pròxim punt.

BOSONS					
Gauge					Scalar
MASSA	0	0	80,4 GeV/c ²	91,2 GeV/c ²	124,97 GeV/c ²
CÀRREGA	0	0	±1	0	0
SPIN	1	1	1	1	0
					
	GLUÓ	FOTÓ	BOSÓ W	BOSÓ Z	HIGGS

Resum classificatiu dels bossons

Hi ha quatre tipus d'interacció fonamentals entre partícules:

- Gravitatòria

És la responsable de mantenir l'estructura de l'univers. Es creu que existeix una partícula portadors de gravetat que es diu gravitó, i que ens manté units a la Terra mitjançant l'intercanvi d'aquesta. No està inclosa al model estàndard.

- Electromagnètica

Manté la matèria en equilibri. La seva partícula portadora és el fotó. Per aquest motiu quan un àtom està inestable emet energia per tornar a estar en equilibri. L'atracció i repulsió de les partícules venen donades per l'intercanvi de fotons.

- Nuclear forta

Manté els quarks a l'interior del nucli atòmic vencent la força electromagnètica de repulsió. Les partícules portadores són els gluons.

- Nuclear feble

És responsable de la caiguda dels quarks i leptons més pesants a més lleugers. Responsable, per tant, de la radioactivitat. Les seves partícules portadores són W^+ i W^- que tenen càrrega, i Z^0 , que és neutre.

Interacció	Partícula portadora	Partícules fonamentals sobre les quals actua
Gravitació	Gravitó (teòric)	Leptons i quarks
Electromagnètica	Fotó	Leptons amb càrrega i quarks
Nuclear forta	Gluó	Quarks
Nuclear feble	Bosons: W^+ , W^- i Z^0	Leptons i quarks

Tipus d'interaccions i la seva informació bàsica

Bosó de Higgs

Fins el 2012 el model estàndard descrivia una partícula que encara no s'havia descobert: el bosó de Higgs. Aquesta va ser proposada per Peter Higgs, François Englert i Robert Brout cap el 1960 per explicar la massa de les molècules. En la creació de l'Univers, juntament amb les altres, es van crear aquestes partícules. Aquests bosons creen el camp de Higgs, que està per tot el buit, de tal manera que quan les altres partícules interaccionen amb aquest, són proporcionades de massa. Els fotons, per exemple, no interaccionen amb aquest camp i, per aquest motiu, no tenen massa.

El 4 de juliol de 2012 el CERN va fer públic el descobriment d'una partícula gràcies als seus dos experiments, CMS i ATLAS del Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC). La probabilitat d'haver descobert la partícula de Higgs suposava un número molt alt. Així doncs, l'última partícula descrita pel model estàndard ja ha estat descoberta.

ANTIMATÈRIA

L'antimatèria, com bé diu el nom, és el contrari de la matèria. Aquesta està composta per antipartícules. Les antipartícules tenen les mateixes propietats fonamentals que les partícules que s'han esmentat, però són de càrrega contrària. Cada partícula té una antipartícula. Quan una partícula i la seva antipartícula s'ajunten, desapareixen i emeten fotons o raigs gamma. El diagrama de Feynman (1948) representa això esmentat.

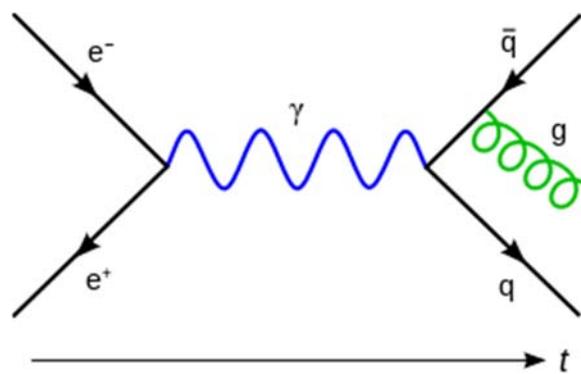


Diagrama de Feynman

Al 1930, Paul Dirac, físic britànic, va predir l'existència de l'antimatèria. Va unificar la relativitat d'Einstein amb la mecànica quàntica de Niels Bohr en un mateix marc teòric descrivint l'electró (que es mou a velocitats properes a les de la llum). Va formular l'equació de Dirac. Aquesta equació declarava que hi havia un "mar de partícules" que

tenien energies més baixes, que havien passat desapercebudes fins el moment. Aquestes eren les antipartícules. Dirac ho va fer aparèixer a nivell teòric, però fou Carl D. Anderson qui va trobar positrons (l'antimatèria de l'electró) a nivell pràctic a través d'una càmera de boira, provinents dels raigs còsmics.

Càmeres de boira

La càmera de boira, com bé diu el nom, és una càmera, un espai tancat, saturat de vapor d'aigua molt fred. Al passar una partícula el gas és ionitzat i es creen nuclis de condensació, permetent la visualització de la seva trajectòria.

Seguint amb els descobriments de partícules d'antimatèria, Carl D. Anderson va utilitzar un camp magnètic a la seva càmera de boira per a que les partícules al creuar-la canviessin la trajectòria segons la seva càrrega. Va aconseguir veure com el positró i l'electró anaven en sentits oposats.

Cap al 1955 Emilio Segré i Owen Chamberlain van descobrir l'antiprotó i l'antineutró. Es van anar coneixent totes les antipartícules i se sap que la Terra està sotmesa al constant bombardeig d'antipartícules, que formen part dels raigs còsmics, atretes pel seu camp magnètic.

El contacte d'un kilogram d'antimatèria amb matèria produiria una energia de magnituds semblants al d'una bomba nuclear. Per aquest motiu en el CERN, on es produeixen antipartícules, emmagatzemen l'antimatèria en tubs cilíndrics al buit amb camps magnètics per evitar accidents.

És habitual la producció d'antimatèria a la natura. Quan els raigs còsmics d'alta energia arriben a l'atmosfera i interaccionen amb ella es produeixen partícules i antipartícules. Així però la producció d'antimatèria és més difícil i el seu emmagatzematge també, ja que si l'antimatèria toca matèria s'anul·len emetent energia, i l'única manera d'emmagatzmar-la és mitjançant camps electromagnètics, i en el cas de l'antineutró aquesta forma no serveix. Per això no s'ha utilitzat la producció d'energia amb antimatèria.

Així doncs si en un inici l'Univers estava format per les mateixes quantitats de matèria i antimatèria, s'haurien d'haver destruït mútuament i no estar format per matèria, com és el cas, sinó per fotons i raigs gamma. És un misteri la resposta del qual es desconeix tant a nivell teòric com experimental. Així però existeixen hipòtesis que intenten respondre'l:

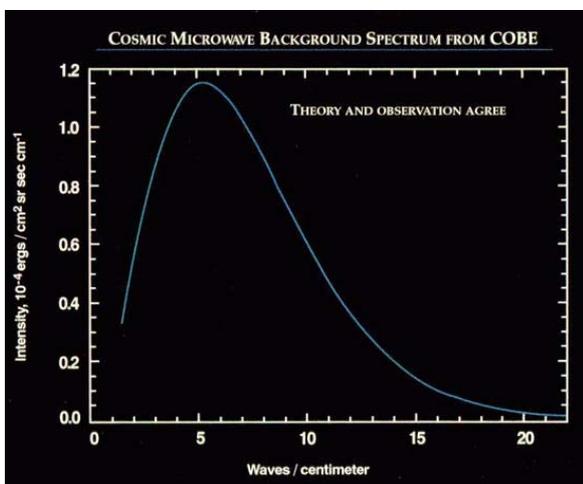
Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi i Toshihide Maskawa, tres investigadors japonesos, diuen que per cada 10.000 milions de partícules de matèria produïda en el Big Bang es van produir 10.000 menys 1 partícules d'antimatèria. Aquest desequilibri seria el que va permetre que l'Univers estigui format per matèria i no antimatèria. Una altra hipòtesis feta per Andréi Sájarov diu que les partícules i les antipartícules no tenen les mateixes propietats fonamentals. Una tercera hipòtesis diu que hi ha regions de l'Univers compostes d'antimatèria.

RADIACIÓ DE FONTS

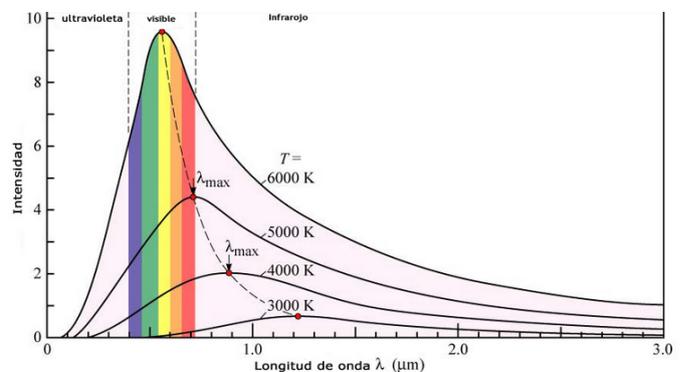
La radiació de fons és la calor residual del Big Bang que arriba avui dia a nosaltres amb una temperatura d'uns 2,7 K a la qual té característiques de radiació de cos negre, amb una freqüència de microones.

En els inicis les altes temperatures posteriors al Big Bang feien aparèixer partícules carregades (plasma) i fotons que interactuaven amb aquestes. Amb l'expansió i refredament del plasma (379.000 anys més tard), les partícules es van anar ajuntant formant àtoms. Els fotons llavors van deixar d'interaccionar amb les partícules, que ara eren neutres, i es podien moure lliurement. Aquests fotons lliures són els que s'anomenen radiació de fons de microones. Aquestes donen informació dels inicis de l'Univers, i són les que el detector utilitzat en aquest projecte detecta.

L'espectre de la radiació de fons és igual que l'espectre d'un cos en equilibri termodinàmic (cos negre). El satèl·lit COBE (Cosmic Background Explorer) va mesurar l'espectre de la radiació de fons el 1992 i va determinar que és tal i com ho prediu la teoria:



Espectre de la radiació de fons mesurat pel COBE

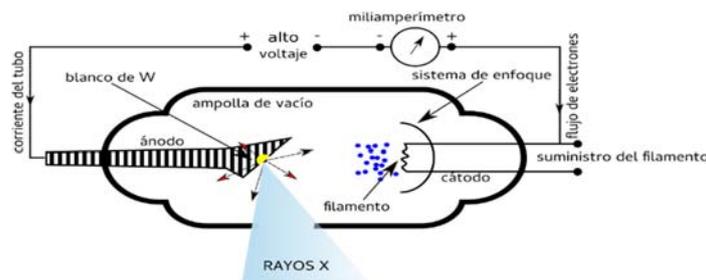


Espectre del cos negre

És un dels descobriments més importants ja que són una prova de la teoria del Big Bang i a més aporta informació. Robert Wilson i Arno Penzias van ser els qui el 1965 van mesurar la radiació de fons de microones i la seva temperatura com a una aproximació de 3K. La van descobrir per accident el 1964 quan treballaven en un nou tipus d'antena. Aquesta captava una font de soroll a l'atmosfera que no podien explicar i ajustant-la van determinar que es tractava de radiació de fons de microones. El 1978 van guanyar el Premi Nobel de Física per aquest descobriment.

RAIGS X

Els raigs X són uns raigs capaços d'il·luminar, de marcar pel·lícules fotogràfiques i de travessar la matèria. Aquests raigs foren descoberts per Wilhelm Röntgen el 1895 mentre experimentava amb un tub de raigs catòdics. Va observar que quan el voltatge augmentava es donaven fenòmens que no haurien de succeir, i va descobrir que es donaven gràcies a uns raigs als que va anomenar X donat que ignorava quin tipus de raig eren.



Tub raigs X

Característiques dels raigs X

Avui dia es sap molt més dels raigs X que quan es van descobrir. Es sap que són de naturalesa electromagnètica així com que tenen un comportament dual (com la llum), es comporten com a ona per transportar-se i com a partícula al interactuar amb la matèria.

Que siguin de naturalesa electromagnètica vol dir que actuen entre partícules carregades. Una partícula interacciona amb l'altre mitjançant un fotó, de manera que la interacció és a distància mitjançant fotons. També s'ha comentat que interacciona amb la matèria. Aquesta interacció torna a ser a distància.

Donat que es van descobrir mentre s'experimentava amb un tub de raig catòdics, per veure aquest tipus de raigs cal tenir un tub de vidre exposat al buit amb una diferència de potencial molt alta d'entre 50 i 150 kV. Els extrems del tub han d'estar connectats entre sí. A un costat del tub està el càtode, que és el pol negatiu, i a l'altre costat del tub està

l'ànode, el pol positiu. Així, amb una diferència de potencial prou alta, els electrons del càtode són atrets per l'ànode, travessant el tub i provocant corrent.

Com que el tub està exposat al buit els electrons no xoquen amb res i la seva energia no es perd sinó que es cedeix al buit en forma d'interaccions amb els electrons corticals i amb els nuclis.

Els electrons corticals són els que estan a la superfície. Quan això passa es donen xocs, tant elàstics com inelàstics. En els xocs elàstics es produeix calor, mentre que en els xocs inelàstics provoquen que els electrons superficials pugin a capes superiors, de manera que quan tornen a caure a on estaven en un inici, emeten energia (que dependrà del material de l'ànode). Aquesta és el que es coneix com a raigs X. Els raigs X, doncs, es formen quan un àtom excitat, a causa de la pujada de capes de l'electró, torna al seu estat fonamental. Els raigs X són fotons molt energètics emesos per tal d'estabilitzar l'àtom.

Els electrons en passar a prop d'un nucli de càrrega positiva, es frenen i es desvien, i ho fan emetent fotons.

Els raigs X són capaços de travessar la matèria, i aquesta capacitat és major mentre més gran sigui la diferència de potencial, menor la densitat de la matèria del medi on es transporten i menor el número atòmic d'aquesta matèria.

Les propietats bàsiques d'aquests raigs són:

- Al travessar un ésser viu s'observa una disminució de la radiació que indica que el cos ha absorbit part d'aquesta radiació, produint lesions.
- Produeix fluorescència en certes substàncies (fòsfors)
- Impressionen i permeten produir imatges sobre pel·lícules fotogràfiques
- Poden ionitzar gasos (permetrà el descobriment de la massa i càrrega dels electrons)

Utilitat dels raigs X

Té un ampli ventall d'aplicacions: En molts camps d'investigació; també s'utilitza en la indústria per observar l'interior d'estructures i comprovar que no hi hagi cap imperfecció interior, estalviant energia i complicacions. En medicina també, per exemple, per observar possibles fractures internes o fins i tot per curar al pacient mitjançant el que s'anomena radioteràpia. Al poc d'haver-se descobert també s'utilitzaven tot i no saber les conseqüències fatals d'aquests. Donada la seva doble naturalesa, pot afectar a les cèl·lules del nostre cos. Per aquest motiu s'intenta minimitzar l'ús d'aquests raigs sobre les persones. Així però en un inici, donada la ignorància de les conseqüències, s'utilitzava abusivament, fins i tot com a mètode d'entreteniment.

Absorció de raigs X

La utilitat dels raigs X es dona per l'absorció dels materials d'aquest. L'absorció de raigs X és el procés d'absorció electromagnètica en la regió dels raigs X. Aquesta depèn de les propietats atòmiques de la matèria radiada.

Com que els raigs X són absorbits pels electrons corticals, es pot concloure que podran passar fàcilment a través d'estructures cristal·lines, que estan estructuralment ben ordenats, mentre que tindrà major dificultat per passar per estructures metàl·liques que tenen un núvol d'electrons al seu voltant que els absorbiran. Es diu, doncs, que hi ha materials amb major absorbència que altres, sent els metàl·lics els més absorbents.

Per veure de manera pràctica aquesta absorbència s'ha dut a terme una pràctica a la Universitat de Barcelona que es pot trobar a l'apartat d'annexos, en l'annex 3.

DETECTOR DE PARTÍCULES

En aquest projecte s'ha tingut l'oportunitat de treballar amb el detector de partícules MINIPIX que permet fer recompte de partícules individuals (o de forma integral), permetent monitoritzar-ho, desenvolupat al CERN. A continuació s'explicarà una mica com funciona i després s'esmentarà les propietats principals dels seus materials i altres tipus de detectors de radiació.

FUNCIONAMENT I DADES TÈCNIQUES

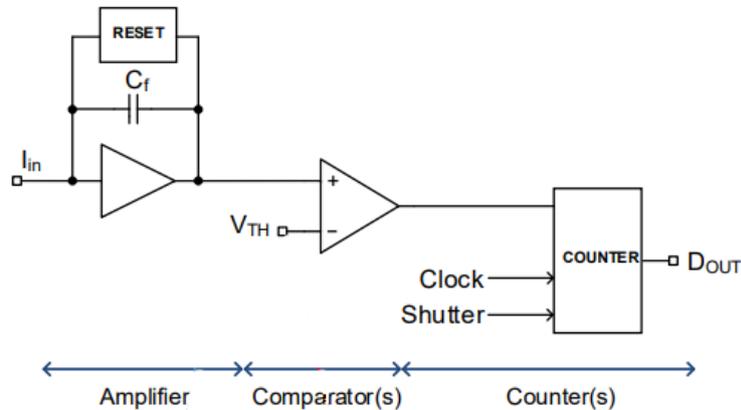
Aquest detector té un detector Single Timepix amb les dades tècniques següents:

Sensor Material:	Si
Sensor Thickness:	100 µm, 300 µm and 500 µm for Si
Sensitive Area:	14 mm x 14 mm
Number of Pixels:	256 x 256
Pixel Pitch:	55 µm
Resolution:	9 lp/mm
Readout Speed:	45 frames/s
Threshold Step Resolution:	0.1 keV
Energy Resolution:	0.8 keV (THL) and 2 keV (ToT)
Min Detectable Energy:	5 keV for X-rays
Photon Counting Speed:	up to 3×10^6 photons/s/pixel
Readout Chip:	Timepix
Pixel Mode of Operation:	Counting, Time-over-Threshold, Time-of - Arrival
Connectivity:	USB 2.0
Dimensions:	60 mm x 12 mm x 5 mm (L x W x H)
Weight:	50 g
Software:	Pixet PRO

Dades tècniques del detector

El detector adapta el senyal enviat per cada píxel per poder analitzar les partícules captades. Quan una partícula arriba al detector provoca un canvi d'intensitat que es transforma en un pic de tensió que es compararà amb el llindar desat al detector. Aquest pic serà major a major energia de la partícula, i la seva durada, per tant, també serà major. Mesurant l'amplitud d'aquests pics es pot saber aquesta energia que proporciona la partícula.

La senyal rebuda per l'electrònica del detector (el pic) serà transformada per tal d'analitzar-la. Es pot separar en tres parts:



Part electrònica del detector que treballa amb les partícules rebudes

- L'amplificador i filtre
És el que s'encarrega de transformar la senyal d'intensitat inicial de la partícula en un senyal de tensió i l'amplifica. Per a que la senyal quedi més neta, s'aplica un filtre que permet eliminar el soroll que dificulta la captació d'aquesta senyal.
- El comparador
Com bé diu la paraula, s'encarrega de comparar aquest senyal rebut amb un llindar per detectar els pics. A la sortida d'aquest bloc hi haurà un 1 si la entrada és igual o major que el llindar i un 0 si està per sota. El llindar el declarem nosaltres. Si es declara un llindar massa alt podria haver pics importants que no fossin detectats.
Mentre més energètica sigui la partícula més gran serà la senyal de tensió i més ample serà el pols detectat.
- El comptador
Aquest bloc s'encarrega de comptar quant de temps el senyal de sortida del comparador és igual a 1 (és a dir, quant de temps la senyal és major o igual a la llindar). Això permet saber si és una partícula amb més o menys energia. Aquesta informació anirà a l'ordinador on serà processada pel programa. Amb el compte de cada píxel es processarà una matriu amb els resultats de tota la placa.

MATERIALS I LA SEVA NATURALES

Com es pot veure en les dades tècniques del detector, aquest està fet de silici. La qüestió aquí és perquè el silici i no un altre material?

El silici elemental té les propietats físiques dels metal·loides, semblants a les del germani. El silici pur és un semiconductor intrínsec. La seva conductivitat elèctrica pot ser manipulada afegint impureses al silici pur. Aquestes fan d'obstacle als electrons. Permeten fer funcions lògiques associades amb un processador de computadora, transistors, díodes de silici, pantalles de cristall líquid i altres dispositius electrònics i de commutació. També s'utilitza el silici en cèl·lules fotovoltaïques en forma de cristall simple.

S'assembla als metalls en el seu comportament químic i és casi ten electropositiu com l'estany i molt més positiu que el germani o el plom.

Gordon Moore, després que es creés el primer xip, va predir que el número de transistors que contendrien els xips es doblaria cada dos anys. Això més tard es coneix com la llei de Moore i encara avui dia segueix sent certa.

El baix cost del silici i la seva gran abundància (és el segon element més abundant a la Terra) així com les seves propietats permet que es segueixi utilitzant el silici per fer els xips.

Els detectors de silici, com ho és en aquest cas, estan basats en l'aplicació d'elèctrodes metàl·lics en les cares oposades d'un cristall semiconductor entre els que s'ha establert una diferència de potencial.

El silici evoluciona al pas de la radiació com a una càmera de ionització en la que la càrrega elèctrica es transporta mitjançant la creació de forats-electró. El forat és la falta d'un electró en els enllaços interatòmics d'estructura cristal·lina dotant-lo de propietats pròpies d'un ió positiu. Mitjançant la recollida d'aquests portadors de càrrega es pot detectar el pas de partícules o fotons i mesurar la seva energia.

Com el material és més dens que altres aplicables, les partícules ionitzants perden tota la seva energia en un recorregut molt curt. Això permet una gran eficàcia de detecció per unitat de volum del detector. A més, es necessita molt poca energia per produir el parell forat-electró (només 3,5 eV), això permet més precisió en la mesura d'energia de partícules o fotons. Sumant que els electrons i els forats tenen molta mobilitat i que, per tant, no hi ha una pèrdua molt gran entre deteccions de pics, el silici pur és la millor opció pel detector. Que sigui pur permet que no hi hagi més forats i electrons lliures dels que formen les radiacions que es tracten de detectar.

CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE DETECTORS DE RADIACIÓ

Els detectors de radiació són instruments que s'utilitzen per mesurar aquesta radiació, però hi ha de diferents tipus segons el tipus. Quan la radiació interacciona amb un medi, li cedeix energia, provocant diferents respostes que fan possible la mesura. Aquestes respostes poden ser:

- Ionització de gasos
- Ionització de sòlids
- Luminescència
 - o Termoluminescència
- Dissociació de la matèria (alteracions biològiques)

Aquests es basen en paràmetres mesurables com la càrrega lliure provocada per la radiació, llum emesa per àtoms excitats, ennegriment de plaques fotogràfiques, creació de parells d'electró-forat en semiconductors...

Tot i això hi ha paràmetres que tots els detectors comparteixen:

- **Rendiment:** Capacitat del detector per a comptabilitzar les partícules incidides en relació al total en %.

- o Eficiència

Amb la radiació α i β és possible el 100% d'eficiència, però amb la γ i els neutrons no, ja que no sempre interaccionen. Per això és necessari conèixer l'eficiència per tal de relacionar el número de polsos amb el número de partícules captades. Hi ha dos tipus:

- Eficiència total: S'accepten tots els polsos generats
- Eficiència parcial: Hi ha pertorbacions i soroll i només es consideren els pics d'energia

- **Resolució:** Capacitat per distingir dues mesures amb valors propers. A major resolució major capacitat de distingir-les.

- **Factor de calibratge:** Valor que cal multiplicar a la lectura del detector per tal que sigui correcte a la magnitud mesurada. Varia amb l'energia.

- **Temps de resposta:** Temps necessari de l'anàlisi de la radiació captada per tal

d'obtenir una lectura correcta. Important en casos de detecció de radiació polsada.

- **Temps mort:** Separació temporal mínima per separar dos polsos fent possible la pèrdua d'informació durant aquest temps
- **Precisió:** Capacitat del detector per aconseguir sempre la mateixa mesura en condicions iguals.
- **Exactitud:** És la proximitat dels resultats amb la realitat.

Els detectors poden tenir diferents modes d'operar segons si es mesura la corrent mitjana produïda de forma continua, perdent d'aquesta manera la informació individual (mode de corrent)(Detectors de dosimetria i control de reactors); o si mesura una senyal de sortida per cada pols de corrent que permet mesurar l'energia (mode de pols)(Detectors de física nuclear i espectroscòpia)

Així doncs poden haver diferents detectors segons en què es basen per detectar la radiació:

- Detectors de gas ionitzats
- Detectors Geiger-Müller (permet detectar la radiació d'un objecte o lloc)
- Detectors de centelleig
- Detectors de semiconductors
- Detectors de neutrons
- ...

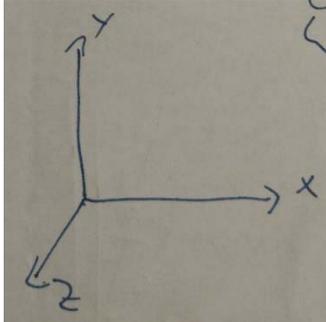
També hi ha diferents tipus de detecció, sigui mitjançant factors químics, elèctrics o biològics. Per exemple: La ionització de certs materials pot provocar efectes irreversibles que poden ser mesurats per mètodes químics, com és l'ennegritament de la pel·lícula fotogràfica. Hi ha dosímetres de pel·lícula fotogràfica que permeten fer aquesta mesura. Altres materials, al ser excitats per la radiació emeten llum. Aquesta llum pot ser transformada en corrent i ser mesurada. La luminescència es pot donar immediatament després de ser radiat o bé quedar diferida fins que el material s'activa tèrmicament. En el primer cas s'utilitzen detectors de centelleig i en el segon cas detectors de termoluminescència.

Per altra banda, les alteracions biològiques provoquen alteracions cromosòmiques en limfòcits de sang i poden ser detectades amb el test d'aberracions cromosòmiques i el test de micronuclis.

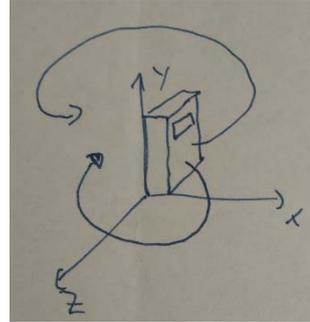
Així doncs el món dels detectors és immens i hi ha moltes possibilitats a l'hora de detectar que van més enllà d'una placa de silici i un sistema electrònic que transforma senyals en pics.

INFORME DEL DISPOSITIU - PROGRAMA DE L'ARDUINO

L'objectiu era construir un dispositiu que permetés moure el detector a qualsevol posició per tal d'obtenir dades a diferents graus i comparar-les. Vaig decidir que l'aparell es pogués moure no només sobre l'eix y sinó també sobre l'eix z tal i com es mostra a les imatges:



Eixos del dispositiu



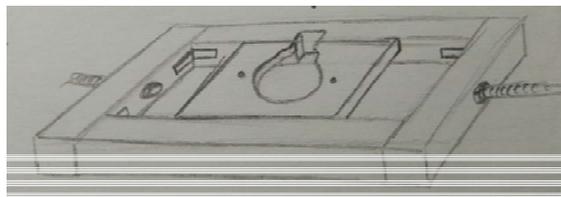
Eixos i rotació del dispositiu

Un cop decidit com es mouria el dispositiu calia pensar una estructura que permetés la convivència de dos motors, un que girés per a cada eix. La idea era fer una plataforma en forma de T invertida sobre la que es posaria el detector. A sota es posaria un motor que fes el gir sobre l'eix y i en un costat estaria l'altre que mouria tota la plataforma sobre l'eix z. A partir d'aquí vaig anar pensant la resta.

DISPOSITIU – PART FÍSICA

Vaig decidir fer l'estructura amb fusta.

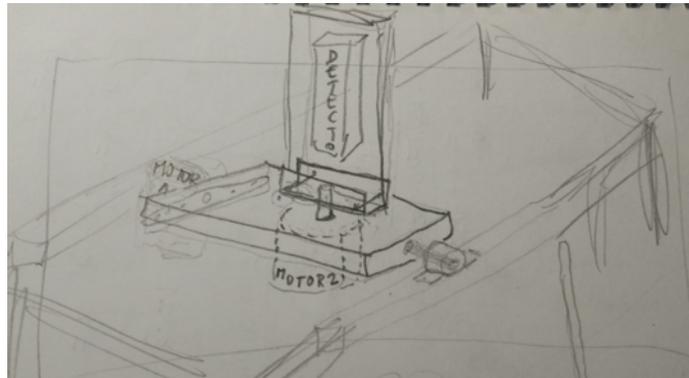
El motor que gira sobre l'eix y és el motor pas a pas. L'altre és el servomotor. Tenint en compte les seves formes i després de fer diferents esborranys vaig decidir-me a fer la base segons la imatge següent:



Base on s'aguanta el motor

En un costat estaria el servomotor i el motor pas a pas es cargolaria al tros central. En un inici no vaig tenir suficientment en compte els cables del motor pas a pas, i vaig haver

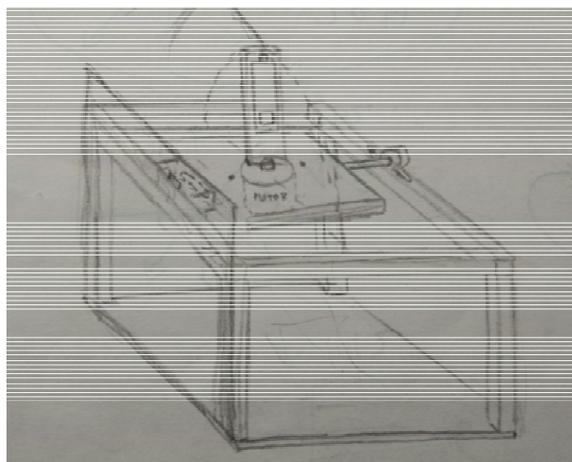
d'obrir una mica més l'estructura per a què passessin els cables i no estiguessin forçats. La idea d'aquesta part era la següent:



Idea final de la part dels motors

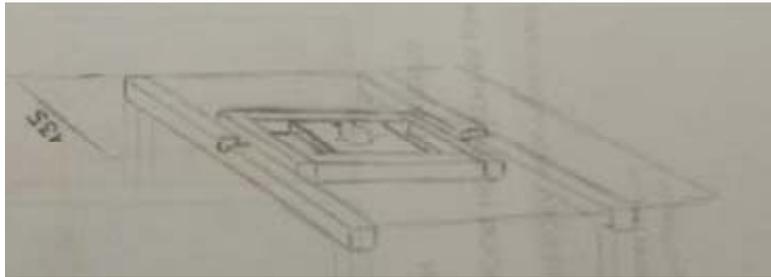
A continuació calia pensar en el cos. El que aguantaria l'estructura anterior i on s'introduiria la placa d'ARDUINO. La idea inicial era fer una estructura tancada i en forma de prisma rectangular.

Cap a aquest moment vaig rebre assessorament d'en Javier Jiménez, que em va ajudar a canviar l'estructura de la part de programació. Em va explicar que mentre més senzill es veïés una cosa complicada, millor. Tot el que quedava escrit devia emetre una sensació de simplicitat i senzillesa. Havia de ser fàcil o, com a mínim, semblar-ho. Això em va fer pensar en l'estructura exterior, i vaig canviar-la. Vaig pensar que una estructura poc pesada visualment seria millor. En comptes de pensar en dissenys tancats, vaig començar a pensar en una estructura de pals en la que al final col·locaria unes tapes per a que quedés cobert i protegit.

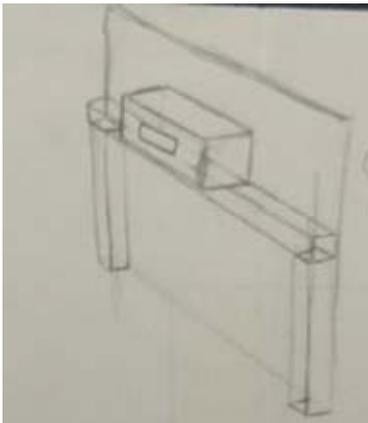


Estructura senzilla de la capsa

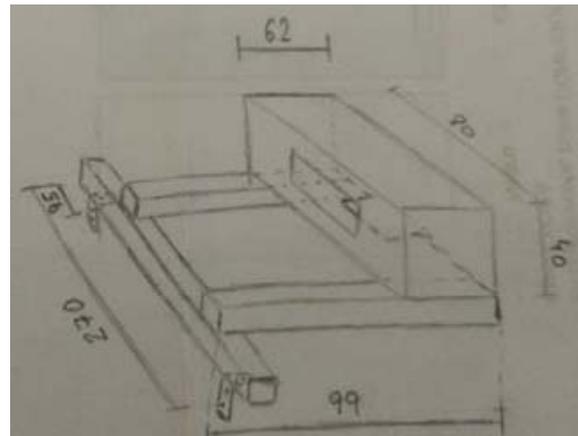
Un altre problema que se'm va plantejar va ser el del servomotor. El model del qual disposava era suficientment potent com per a fer girar l'estructura, però tal i com estava el model en el moment, part del pes queia directament en el motor. Per tal de no forçar-lo calia afegir alguna mena de suport a l'estructura que aguantés la base central. També calia aguantar el motor a aquella alçada i disminuir la mida de la base al màxim. Això va resultar en diferents opcions d'estructura d'aquesta part:



Esbós de l'estructura minimitzada que aguanta la base central



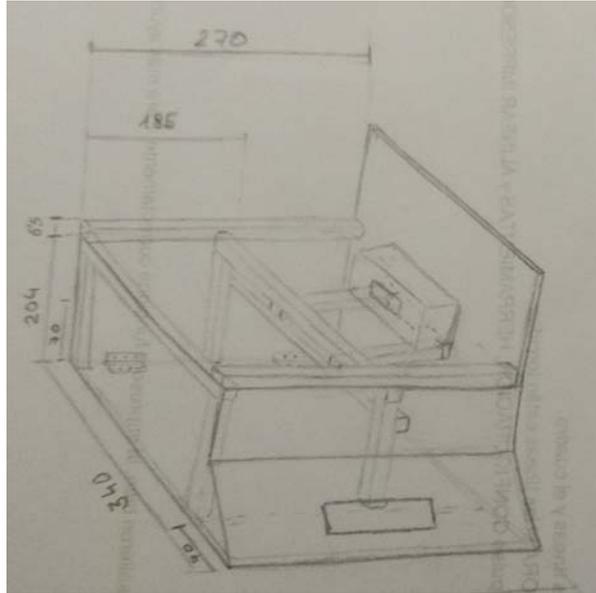
Esbós de l'estructura que aguanta el servomotor



2n esbós, acotat, de l'estructura que aguanta el servomotor

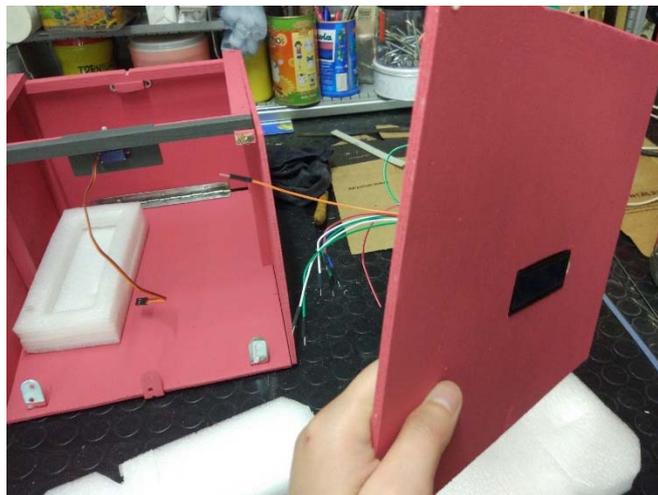
Després vaig pensar que estaria bé posar una pantalla que t'informés del que estava passant. Per col·locar la pantalla era necessari que un dels costats estigués lleugerament inclinat.

També era necessari que hi hagués un accés fàcil a l'interior, així que vaig fer que la part de darrera o contrària de la pantalla es pogués obrir. Després de diversos esbossos l'estructura sencera va quedar de la següent manera (ja acotada):



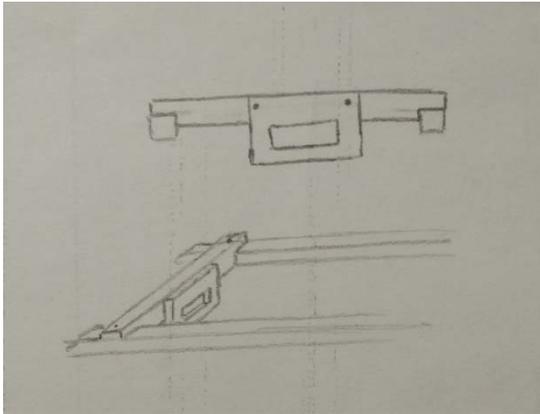
1r esbós final de l'estructura

Així però em vaig adonar que tant l'estructura amb la que s'aguantava el servomotor com la part en la que s'aguanta la pantalla eren innecessàriament complexes i havia molt espai desaprofitat. A més estèticament no era senzill ni pràctic. Per aquests motius vaig eliminar l'esglaió de la pantalla i vaig decidir fer tota la cara inclinada.



Construcció de la part de la pantalla en una cara inclinada

Com que el servo només necessitava aguantar-se, el vaig col·locar sobre la mateixa estructura de la capsa sense necessitat de fer res extra que ocupés espai innecessari, i la “caixa” en la que estava tancat el servo per aguantar-se la vaig obrir i la vaig deixar en una sola cara amb un forat. L’estructura del servomotor va quedar, doncs, de la següent manera:



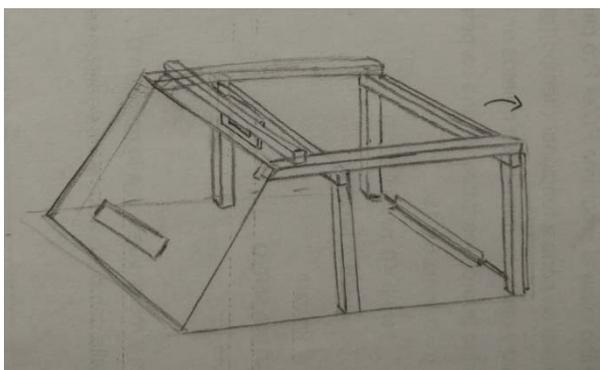
Esbós de l'estructura del servomotor



Construcció de l'estructura del servomotor

D’aquesta manera el servomotor s’aguantava sobre l’estructura de la caixa i es podia col·locar en un forat sense que hi hagués problemes amb el cablejat del servo.

Com que ara el servomotor no necessitava espai extra, vaig decidir rotar l’estructura per deixar més espai al detector i a la base central per a que girés. L’estructura de la caixa amb aquest model quedava de la següent manera:



Esbós final del dispositiu



Construcció final del dispositiu sense la tapa davantera

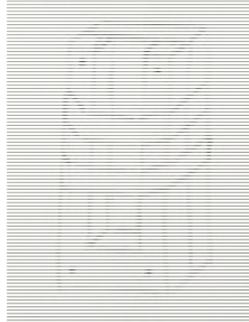
Les mesures es van quedar igual a com estaven abans, l'única diferència era que ara estava rotat respecte abans. Durant el muntatge es van fer algunes modificacions. Es va obrir una mica la barra horitzontal de la base per a que el detector es pogués recolzar i també es va posar un imant a la tapa de darrera per a que s'aguantés. Els forats per on s'aguantava la barra que subjectava la base es van haver de fer una mica més grans per tal que al rotar el motor, no es forçés ni es sortís l'estructura. El forat de la pantalla també es va haver de fer més gran i adaptat a la forma de la pantalla de la que disposava. A l'estructura de la base en un inici tenia pensat posar esquadres, però al final va ser innecessari i no es van posar.

Per col·locar la placa i tot el que estava connectat a ella sense que es mogués a dins de la caixa, vaig optar per enganxar porexpan amb cinta de doble cara a la base i encaixar tots els dispositius a ella per evitar que hi hagués cap mena de tensió amb els cables.

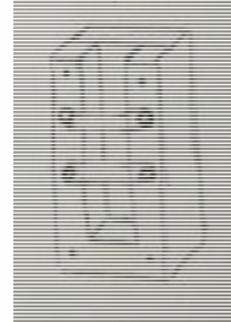
La part en la que es recolzaria el detector va ser més simple de pensar. Vaig tenir tres idees principals:



Esbós del suport de la base (1a opció)



Esbós del suport de la base (2a opció)



Esbós del suport de la base (3a opció)

Al final, però, vaig optar per fer només la base on s'aguantaria el detector i no fer res per subjectar-lo. Més endavant se'm va passar pel cap utilitzar unes gomes petites del dentista que m'havien sobrat algun cop, i van resultar fer la feina desitjada.

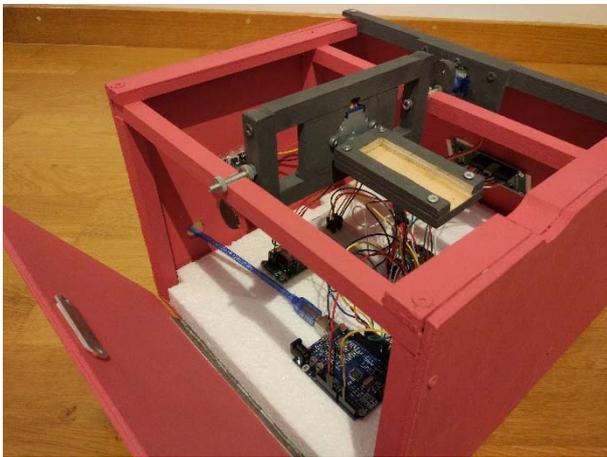
Al final l'estructura amb tot muntat va quedar així:



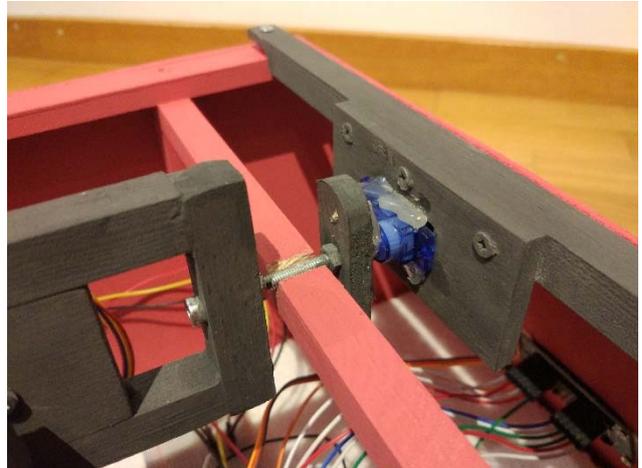
Estructura final muntada



Estructura vista des de sobre



Estructura vista des de darrera amb la tapa oberta



Estructura del servomotor clavada a la base del motor pas a pas

PROGRAMA – PART DE PROGRAMACIÓ

He decidit utilitzar ARDUINO per fer la part de programació perquè és un camp que ja coneixia. A 4t de la ESO ja vaig treballar amb ell i em sé moure prou bé amb ell com per a aprendre un llenguatge nou.

Informació bàsica d'ARDUINO

ARDUINO és una plataforma electrònica oberta basada en un programari i un maquinari fàcils d'usar. Les plaques d'ARDUINO llegeixen una informació d'entrada i la converteixen en una de sortida a través de comandaments. Aquests es fan amb el

llenguatge de programació d'ARDUINO, basat en Wiring¹, i el programari d'ARDUINO (IDE), basat en Processing².

L'ARDUINO es configura des del “void setup ()”. Aquí s'especifica els pins que són d'entrada i els de sortida, si es vol establir connexió amb l'ordinador, si s'utilitzaran números aleatoris. Els comandaments s'escriuran al “void loop ()”. Mentre l'ARDUINO estigui alimentat amb energia, farà aquests comandaments en bucle.

Per realitzar aquest treball he llegit llibres d'ARDUINO per tenir idees de com fer les coses. També he buscat per a cada motor i cada dispositiu utilitzat com s'utilitzava i quins codis permetien fer-ho. A partir d'aquí he retocat el que m'interessava per aconseguir el resultat desitjat. Cada cop que afegia un dispositiu, sigui motor, pantalla, joystick, etc, feia un document nou per tal de no fer malbé el que abans funcionava.

Com he esmentat en la part de muntatge, en aquesta part he rebut ajuda d'en Javier Jiménez, enginyer informàtic. Em vaig posar en contacte amb ell per a que em donés idees de com fer certes parts del programari. Després d'ensenyar-li el que tenia fet em va recomanar reestructurar-lo. Em va dir, com he dit abans, que mentre més senzill i curt for el programa principal, millor, i que per fer-ho podria utilitzar trucades. D'aquesta manera cada apartat té el seu espai i el seu nom, i quan el programa principal el necessita, el truca i el llegeix sense necessitat que estigui tot seguit en un bloc molt gran. Això em va simplificar el codi i el va fer molt més curt i senzill de llegir i entendre. A més era molt més fàcil treballar d'aquesta manera. Si volia canviar alguna cosa del temps, per exemple, no havia de buscar en un bloc molt gran on estava tot barrejat, sinó que anava a on tenia escrita la trucada del temps i no m'arriscava ni a esborrar coses d'altres apartats ni a no trobar-lo. Vaig canviar tots els codis que tenia escrits per a estructurar-los d'aquesta manera.

El problema principal que vaig tenir va ser el del temps. La meva intenció era que a la pantalla on estava tota la informació sortís els graus sobre els dos eixos, el temps total que portava funcionant i un temps decremental d'una hora per saber quant quedava per a que el dispositiu canviés de posició el detector. Ell a em ve dir que utilitzés les interrupcions per fer-ho. Em va explicar com funcionaven i els tipus que havia. També

¹ Per a més informació visita: <http://wiring.org.co/>

² Per a més informació visita: <https://processing.org/>

em va explicar com fer el temps decremental perquè la idea que havia tingut en un inici era massa complicada i rebuscada.

Finalment, un cop tot va estar programat, vaig muntar totes les peces on tocaven. Abans de fer-ho, però, vaig decidir apuntar-me on estava tot connectat per saber com havia de connectar-ho en cas que muntant-lo es desconnectés alguna cosa.

Codi

A continuació explicaré dos codis. Un és la simplificació de l'altre. Aquesta part es va endur gran part del meu temps a l'estiu. Cada cop que introduïa un dispositiu nou al codi el provava a part. Per tal de no fer malbé el que ja tenia fet i funcionava. Un cop comprovat que funcionava com jo volia que funcionés, l'afegia al codi general. Així doncs tinc almenys un codi per cada dispositiu afegit que no serà analitzat. Per veure'ls, estan penjats al DRIVE compartit amb el professor tutor de TR.

```
//Incluimos la libreria LiquidCrystal
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>

//VARIABLES GLOBALES
long tiempo = 0;
const int intPin = 2;
int tiempotemp = 0;
int grados = 0;
int fase = -3;
long ultimotiempo = 0;
LiquidCrystal lcd(3, 13, 7, 6, 5, 4); //Definimos los pines que vamos a usar
Servo servo; //Definimos el servo
const int pinJoyY = A1; //Joystick eje Y
#define IN1 9 //Configurar el motor paso a paso
#define IN2 10
#define IN3 11
#define IN4 12
int paso [4][4] = // Secuencia de pasos (par máximo)
{
  {1, 0, 0, 0},
  {0, 1, 0, 0},
  {0, 0, 1, 0},
  {0, 0, 0, 1}
};
```

Definicions prèvies al codi principal

Primer s'inclou la llibreria LiquidCrystal (per fer funcionar la pantalla) i la del servo.

A continuació s'introdueixen les variables globals. La del temps necessita més bits, per això s'utilitza "long". Es defineix el servo i els pins que s'utilitzaran per a la pantalla. S'introdueix el joystick. Només s'utilitzarà l'eix Y. Es configura el motor pas a pas per a que vagi de 90 en 90 graus.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Inicializar buffer serie (pasar info al PC)
  lcd.begin(16, 2); //Inicializar LCD
  pinMode(intPin, INPUT_PULLUP); //Configurar interrupciones
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(intPin), growtime, RISING);
  lcd.setCursor(0, 0); //Situamos el cursor
  lcd.print("00:00:00  59:59"); //Sacamos el texto por pantalla (PLANTILLA DE LCD)
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("XY:000  XZ:000");
  servo.attach(8); //Inicializar servo;
  servo.write(0); //Ponemos en "0°"
  pinMode(IN1, OUTPUT); // Todos los pines en modo salida MOTOR PASO A PASO
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
}
```

Void setup

Void setup (): Ara s'estableix connexió amb l'ordinador. S'inicialitza la pantalla. Es configuren les interrupcions per tal de poder visualitzar el temps augmentant i disminuint en la pantalla.

Es col·loca el cursor a la pantalla per escriure les dades que es visualitzaran (temps creixent i temps decreixent a la part superior i graus a la part de sota).

Llavors s'inicialitza el servo i el posem a 0 graus per a que cada cop que comenci torni a 0 graus, i es col·loquen tots els pins del motor en mode de sortida.

Void loop (): En un inici al ajuntar els codis que tenia preparats, totes les ordres del void loop () es veien seguides. Ho considerava ordenat però era difícil de treballar amb un codi tan llarg i per retocar algunes coses havia d'anar amb compte amb les altres ordres. Vaig aprendre que un codi mentre més senzill i curt es vegi millor. Així que vaig decidir fer que una cosa molt gran semblés poc i senzill. La manera de fer-ho possible era mitjançant trucades (amb la forma NomDeLaTrucada ());. Així doncs el codi següent és tot el que fa l'ARDUINO:

```

void loop() // Programa principal
{
  Actualizar_tiempo_pantalla();
  //Angulo
  if (tiempo%600 == 0 and ultimotiempo != tiempo){
    //Serial.println(fase);
    ultimotiempo = tiempo;
    if (fase % 4 != 0){
      incrementar_Mpaso();
    }
    else{
      incrementar_servo();
      incrementar_Mpaso_Neg();
    }
    fase++;
    Actualizar_grados_pantalla();
  }
  check_joystick();
}

```

Programa principal

Comença fent funcionar la pantalla, en concret el temps. A continuació fa funcionar el motor. Si el motor ha fet menys de 4 passes (1 volta), fa que el motor es mogui un pas. Així però, si ha fet ja les 4 passes, llavors incrementa un cop el servo i el motor fa una volta en sentit contrari per tal que no s'enredin els cables. Llavors s'incrementa el motor un altre cop i s'actualitza la pantalla (canvien els graus del servo)(els graus del motor van canviant cada cop que gira). Finalment està "check_joystick()" que permet moure el motor a la posició desitjada en cas que hagi algun accident que pari el programa a meitat. El motor no té diferenciador de posició, per tant no es pot posar a la posició 0 com ho fa el servo. És necessari fer-ho manualment en aquest cas.

A continuació explicaré cadascuna de les trucades:

```
void Actualizar_grados_pantalla(){
  lcd.setCursor(3, 1); // Situamos el cursor para escribir los grados XY
  Serial.println(((fase+3)*90) % 360);
  if( ((fase+3)*90) % 360 < 100) {
    lcd.print(0);
    lcd.print(((fase+3)*90) % 360);
  }
  else {lcd.print(((fase+3)*90) % 360);}
  lcd.setCursor(13, 1); // Situamos el cursor para escribir los grados XZ
  if(grados < 100) {
    lcd.print(0);
    lcd.print(grados);
  }
  else {lcd.print(grados);}
}
```

Trucada per actualitzar els graus a la pantalla

Començo amb la pantalla. La trucada “Actualizar_grados_pantalla()” fa el següent:

Primer situa el cursor al lloc on s’escriuen els graus XY (motor). Llavors imprimeix a la pantalla en quina posició es troba el motor. No ho fa llegint al motor perquè aquest no funciona amb graus sinó amb fases. Per aquest motiu imprimeix la multiplicació de la fase per 90 per tenir els graus. Com que un cop comença a funcionar el motor les fases es van incrementant (segons l’ordre fase++), un cop ha fet més d’una volta, les fases multiplicades per 90 hauran de ser dividides per 360 per tal que el número que surti a la pantalla estigui entre el 0 i el 360 i no es passi d’aquest últim número.

Els graus es tenen tres espais on es poden col·locar (000), per aquest motiu si els graus són menors de 100, a la pantalla no haurà de sortir 900 sinó 090. Per aquest motiu si el resultat de l’operació indica que està en una posició menor als 100 graus, haurà d’imprimir un 0 (el de davant) i a continuació el resultat de l’operació (0, 45, 90) per a que a la pantalla surti 045 o 090, per exemple. No cal recol·locar el cursor perquè un cop imprimeix una ordre, la següent la imprimeix a continuació (com bé diu, és com un cursor). Quan el resultat no sigui menor a 100, llavors imprimirà directament el resultat de l’operació (180, 270).

A continuació es troba el servo que com que sí sap en quin grau es troba és molt més fàcil. Com que l’espai per col·locar és “000”, mentre el servo estigui en graus menors a 100, caldrà imprimir un 0 i després els altres graus (per exemple: 45, 90). En cas que no siguin menors a 0, simplement imprimirà el que digui el servo (135, 180).

Ara continuaré amb la part del temps de la pantalla. La trucada és “Actualizar_tiempo_pantalla()”. Aquesta es pot dividir en dues parts: la que incrementa el temps i la conta enrere.

```
void Actualizar_tiempo_pantalla(){

    lcd.setCursor(6, 0); // Situamos el cursor para escribir los segundos (INCREMENTAL)
    if(tiempo%60 < 10 ) {
        lcd.print(0);
        lcd.print(tiempo % 60);
    }
    else {lcd.print(tiempo % 60);}
    lcd.setCursor(3, 0); //Situamos el cursor para escribir los mins
    long tiempoaux = tiempo/60;
    if( ((tiempoaux%60) < 10 )) {
        lcd.print(0);
        lcd.print((tiempoaux)%60);
    }
    else {lcd.print((tiempoaux%60));}
    lcd.setCursor(0, 0); //Situamos el cursor para las horas
    tiempoaux = tiempo/3600;
    if( ((tiempoaux%60) < 10 )) {
        lcd.print(0);
        lcd.print((tiempoaux)%60);
    }
    else {lcd.print((tiempoaux%60));}
```

Trucada per actualitzar el temps total a la pantalla

Per incrementar el temps es comença situant el cursor en els segons. En aquest cas l'espai pel temps són dos (00), per tant aquells números per sota del 10 hauran de tenir un zero davant i després el número, tal i com es pot veure a l'ordre. Es col·loca el cursor als minuts. En els minuts s'introdueix la variable de temps auxiliar. S'indica que és el temps entre 60 (minuts) i es fa el mateix que amb els segons per a valors menors a 10. Finalment es passa a les hores. S'indica que el temps auxiliar és el temps entre 3600 (hores) i es fa el mateix que en els dos casos anteriors.

```

lcd.setCursor(14, 0); //Situamos el cursor en tiempo DECREMENTAL
if (tiempo%60 > 49){
  lcd.print("0");
  lcd.print(59-(tiempo%60));
}
else{
  lcd.print(59-(tiempo%60));
}
lcd.setCursor(11, 0); //Minutos cuenta atrás
if ((tiempo/60)%60 > 49){
  lcd.print(0);
  lcd.print(59-((tiempo/60)%60));
}
else{
  lcd.print(59-((tiempo/60)%60));
}
}

```

Trucada per actualitzar el temps en decremental a la pantalla

Per fer el compte enrere es restarà el temps que es té a 59 i així anirà decreixent cada segon el que toca. Per tant quan el compte endavant estigui entre els 49 i els 60, el compte enrere estarà entre el 10 i el 0 (perquè estaran sent restats). Per tant per a valors superiors a 49 caldrà imprimir un 0 davant i després el número corresponent que serà 59 menys el que porti. En cas contrari, només imprimirà el resultat de l'operació. Per als minuts passa el mateix, però el nombre restat no seran els segons, sinó els minuts (entre 60 fent el mòdul).

La següent trucada és la d'incrementar el servo, anomenada "incrementar_servo()". Aquesta utilitza la variable "grados" que és 0. Es fa que vagi incrementant 45 graus cada cop que ho llegeixi i imposo que si sobrepassa els 180 graus, llavors torni al 0.

```

void incrementar_servo(){
  grados = grados + 45;
  if (grados > 180){grados = 0;}
  //Serial.println(grados);
  servo.write(grados);
}

```

Trucada per incrementar els graus del servo

A aquesta trucada la segueixen dues més que fan referència al motor. La primera és "incrementar_Mpaso()" i la segona "incrementar_Mpaso_Neg()"

```

void incrementar_Mpaso(){
  for (int j = 0; j<128; j++){
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      digitalWrite(IN1, paso[i][0]);
      digitalWrite(IN2, paso[i][1]);
      digitalWrite(IN3, paso[i][2]);
      digitalWrite(IN4, paso[i][3]);
      delay(10);
    }
  }
}

```

Trucada per incrementar el motor pas a pas

En la primera es fa que el motor vagi incrementant 90 graus a cada moviment. La forma de fer que el motor es mogui 90 graus cada cop l'he buscat per internet. Després al delay() es posa el temps que es vol que estigui en aquella posició.

```

void incrementar_Mpaso_Neg(){
  for (int j = 0; j<384; j++){
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      digitalWrite(IN1, paso[i][3]);
      digitalWrite(IN2, paso[i][2]);
      digitalWrite(IN3, paso[i][1]);
      digitalWrite(IN4, paso[i][0]);
      delay(10);
    }
  }
}

```

Trucada per fer que el motor doni la volta en sentit contrari

En “incrementar_Mpaso_Neg() es fa el mateix que l'anterior, o semblant. Si observem el cas anterior podem veure que 90 graus son $j < 128$, per tant, per a que faci 270 hauran de ser $128 \times 3 = 384$. Per a que vagi en sentit contrari, per tal d'evitar que els cables es trenquin, s'inverteix l'ordre. Com en el cas anterior, en el delay() s'especifica el temps que es vol que s'estigui.

En aquest cas el temps que triga el motor en girar és molt petit comparat al d'una hora sencera que és el que hauria d'estar per cada posició, però si el temps de gir del motor fos significatiu, s'hauria de mesurar i tenir-lo en compte en el delay.

```

void growtime()
{
    tiempotemp++;
    if (tiempotemp == 984){
        tiempo++;
        tiempotemp = 0;
    }
}

```

Trucada per fer que els segons siguin segons

El “growtime()” és el que s’encarrega de sumar segons mitjançant la interrupció. Per fer les proves i comprovar que tot funcionava com calia el temps que calia, canviava el número de 984 per un altre més baix com per exemple 10 per tal que els segons “passessin més ràpid”. D’aquesta manera podia veure el que passava en la pantalla en 20 hores sense necessitat d’estar-me 20 hores mirant-la. A través d’un procés de prova i error, mesurant el temps de la pantalla i comparant-lo amb diferents cronòmetres, vaig declarar el 984 com el número que permetia que els segons fossin realment segons. En aquest procés de mesura em vaig adonar que el temps anava cada cop més ràpid per sota d’aquest número i cada cop més lent per sobre. I també va resultar que comparant varies vegades el mateix número amb el mateix cronòmetre, el temps variava de manera diferent si el portàtil estava o no connectat a la corrent, mostrant doncs que part de l’error estava en pèrdues energètiques. Així però l’error per aquest cas és d’uns -8 segons cada hora, incrementant uns dos segons a la multiplicació per cada tres hores (en tres hores casi mig minut de menys). L’error és mínim comparat amb l’hora que ha d’estar mesurant per posició. Una forma de contrarestar-lo és connectant primer l’aparell i després el programa PIXet Pro per disminuir una mica l’error.

Finalment vaig observar que en cas que la placa es quedés sense energia a meitat del procés o hi hagués qualsevol accident, al tornar-lo a connectar el servo tornaria a la posició 0, però el motor continuaria des d’on s’hagués quedat (si es quedés sense energia en meitat del gir, el motor quedaria torçat). Per evitar-ho he introduït un joystick mitjançant el qual podem regular manualment la posició del motor. Girant cap a un costat el joystick gira en sentit horari, i cap a l’altre gira en sentit antihorari.

```

void check_joystick(){
    int Yvalue;
    Yvalue = analogRead(pinJoyY);
    if(Yvalue < 250)giraAntiHorario();
    else if(Yvalue > 750)giraHorario();
}

```

Trucada per poder fer servir el joystick

Com es pot veure, hi ha dues trucades dins “check_joystick()”. Una és “giraAntiHorario()” i l’altre és “giraHorario()”.

```

void giraAntiHorario(){
    Serial.println("antihorario");
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        digitalWrite(IN1, paso[i][0]);
        digitalWrite(IN2, paso[i][1]);
        digitalWrite(IN3, paso[i][2]);
        digitalWrite(IN4, paso[i][3]);
        delay(10);
    }
    delay(500);
}

```

Trucada per fer que el joystick giri el motor en sentit antihorari

```

void giraHorario(){
    Serial.println("horario");
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        digitalWrite(IN1, paso[i][3]);
        digitalWrite(IN2, paso[i][2]);
        digitalWrite(IN3, paso[i][1]);
        digitalWrite(IN4, paso[i][0]);
        delay(10);
    }
    delay(500);
}

```

Trucada per fer que el joystick giri el motor en sentit horari

L’única diferència entre l’un i l’altre és que està invertit l’ordre per tal que un vagi en sentit horari i l’altre en sentit antihorari.

Tot i que la meua idea inicial era que el detector detectés 20 mesures, cada mesura hauria de ser d’1 hora i el detector es sobreescalfava massa. A més es va considerar innecessari fer tantes mesures. Davant aquesta situació es va decidir no utilitzar el motor i augmentar les parades del servo. En comptes d’anar de 45 en 45 graus, aniria de 15 en 15, i en comptes d’anar de 0 a 180 graus, aniria de 0 a 90. Així doncs el codi queda una mica retocat. S’han d’anul·lar certes funcions i el motor pas a pas.

Un avantatge que té aquesta disminució d’hores és que l’error temporal que es donava en el rellotge es disminueix, ja que només haurà d’estar 7 hores en funcionament en contraposició a les 20 que havia d’estar abans, i l’error per minut no es fa tan gran com ho faria al arribar a les 20 h.

Una ordre es por “anul·lar” col·locant // o /* */. Així he tret tot allò que no interessava.

El que ha canviat del codi és el següent:

Tot el que té a veure amb el motor s’anul·la, inclòs el joystick que ja no caldrà.

```
//Incluimos la libreria LiquidCrystal
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>

//VARIABLES GLOBALES
long tiempo = 0;
const int intPin = 2;
int tiempotemp = 0;
int grados = 0;
int fase = -3;
long ultimotiempo = 0;
LiquidCrystal lcd(3, 13, 7, 6, 5, 4); //Definimos los pines que vamos a usar
Servo servo; //Definimos el servo
/*const int pinJoyY = A1; //Joystick eje Y
#define IN1 9 //Configurar el motor paso a paso
#define IN2 10
#define IN3 11
#define IN4 12
int paso [4][4] = // Secuencia de pasos (par máximo)
{
  {1, 0, 0, 0},
  {0, 1, 0, 0},
  {0, 0, 1, 0},
  {0, 0, 0, 1}
};
*/
```

Anul·lació del motor pas a pas i del joystick

En el void setup () es treuen els pin en mode sortida del motor pas a pas.

```
/*pinMode( IN1, OUTPUT );
servo.attach(8); //Inicializar servo;
servo.write(0); //Ponemos en "0°"
*/
pinMode(IN1, OUTPUT); // Todos los pines en modo salida MOTOR PASO A PASO
pinMode(IN2, OUTPUT);
pinMode(IN3, OUTPUT);
pinMode(IN4, OUTPUT);
*/
}
```

Anul·lació dels pins utilitzats pel motor

Del programa principal s'anul·len totes les ordres al motor i al joystick.

```
void loop() // Programa principal
{
  Actualizar_tiempo_pantalla();
  //Angulo
  if (tiempo%3600 == 0 and ultimotiempo != tiempo){
    //Serial.println(fase);
    ultimotiempo = tiempo;

    // if (fase % 4 != 0){
    //   incrementar_Mpaso();
    // }
    // else{
    //   incrementar_servo();
    //   incrementar_Mpaso_Neg();
    // }
    // fase++;
    Actualizar_grados_pantalla();
  }

  // check_joystick();
}
```

Anul·lació del motor i del joystick del programma principal

De “Actualizar_grados_pantalla()” s'anul·la la part dels graus XY que quedaran sempre com a 000.

```
void Actualizar_grados_pantalla(){
/*
  lcd.setCursor(3, 1); // Situamos el cursor para escribir los grados XY
  Serial.println(000);
  Serial.println(((fase+3)*90) % 360);
  if( ((fase+3)*90) % 360 < 100) {
    lcd.print(0);
    lcd.print(((fase+3)*90) % 360);
  }

  else {lcd.print(((fase+3)*90) % 360);}
*/
  lcd.setCursor(13, 1); // Situamos el cursor para escribir los grados XZ
  if(grados < 100) {
    lcd.print(0);
    lcd.print(grados);
  }
  else {lcd.print(grados);}
}
```

Anul·lació del canvi de graus del motor a la pantalla

Finalment s'anul·la l'ordre de moure el motor de forma horària i antihorària i tot el que tingui a veure amb el joystick.

```

/*
void check_joystick(){
  int Yvalue;
  Yvalue = analogRead(pinJoyY);
  if(Yvalue < 250)giraAntiHorario();
  else if(Yvalue > 750)giraHorario();
}

```

Anul·lació de la trucada del joystick i de tot el que té a veure amb aquesta

```

void giraAntiHorario(){
  Serial.println("antihorario");
  for (int i = 0; i < 4; i++)
  {
    digitalWrite(IN1, paso[i][0]);
    digitalWrite(IN2, paso[i][1]);
    digitalWrite(IN3, paso[i][2]);
    digitalWrite(IN4, paso[i][3]);
    delay(10);
  }
  delay(500);
}

void giraHorario(){
  Serial.println("horario");
  for (int i = 0; i < 4; i++)
  {
    digitalWrite(IN1, paso[i][3]);
    digitalWrite(IN2, paso[i][2]);
    digitalWrite(IN3, paso[i][1]);
    digitalWrite(IN4, paso[i][0]);
    delay(10);
  }
  delay(500);
}
*/

```

Anul·lació de la trucada del joystick i de tot el que té a veure amb aquesta

```

/*
void incrementar_Mpaso(){
  for (int j = 0; j<128; j++){
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      digitalWrite(IN1, paso[i][0]);
      digitalWrite(IN2, paso[i][1]);
      digitalWrite(IN3, paso[i][2]);
      digitalWrite(IN4, paso[i][3]);
      delay(10);
    }
  }
}

void incrementar_Mpaso_Neg(){
  for (int j = 0; j<384; j++){
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
      digitalWrite(IN1, paso[i][3]);
      digitalWrite(IN2, paso[i][2]);
      digitalWrite(IN3, paso[i][1]);
      digitalWrite(IN4, paso[i][0]);
      delay(10);
    }
  }
}
*/

```

Anul·lació de la trucada del joystick i de tot el que té a veure amb aquesta

Realment no era necessari anul·lar la part de la trucada perquè si ja s'ha anul·lat al programa principal, en cap moment hi ha una ordre de fer-lo servir.

També cal canviar l'ordre que té el servo d'anar de 45 en 45 graus fins a 180. Ara haurà d'anar de 15 en 15 fins als 90.

```

void incrementar_servo(){
  grados = grados + 15;
  if (grados > 90){grados = 0;}
  //Serial.println(grados);
  servo.write(grados);
}

```

Trucada del servo retocada

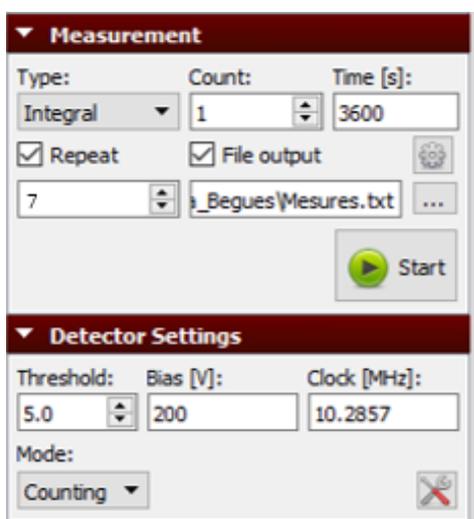
Com es mostra a la imatge, ara el servo s'incrementa de 15 graus en 15 graus i en quant es passa dels 90 graus torna a la posició 0 graus.

Programació PIXet PRO

Per saber com funciona el programa i el detector, s'ha fet una pràctica inicial introductòria. Aquesta es pot trobar en l'apartat d'annexos, en l'annex 1.

En un inici pensava fer que l'ARDUINO i el programa del detector interactuessin per guardar les dades a l'ordinador i fer que l'ARDUINO possés en marxa el programa PIXet PRO. Això es podia fer a través de Payton en principi, així que me'l vaig descarregar. Com que no tinc coneixements d'utilització de Payton, abans d'aprendre i utilitzar-lo vaig pensar que seria millor comprovar que el programa acceptava el Payton. Vaig buscar el més bàsic i ho vaig provar al PIXet Pro, però tot i que el codi era correcte, el programa no responia. Davant d'aquest contratemps em vaig dedicar a investigar el programa i les opcions que em donava. Vaig tenir la sort de poder tenir el detector per mirar què tipus de comandaments et permetia fer (quan no tens el detector no se t'obre l'opció de fer-ho). Vaig descobrir que podies programar-ho per a que fes "x" repeticions de "x" temps cadascuna i per a cada repetició guardar-ho en una carpeta de l'ordinador. A més donava l'opció d'esborrar les dades cada cop que repetia, de tal manera que podies obtenir les dades per a cada posició.

El programa havia de quedar així per a fer l'experiència desitjada:



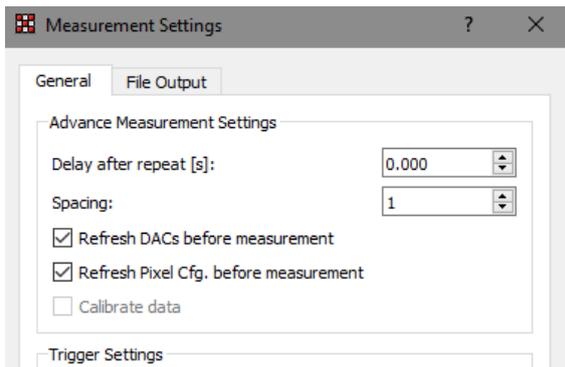
Es posa en integral, en un compte de 3600s (1 hora). Es marca la casella de Repeat per a que es repeteixi, i s'indica que es vol 7 repeticions ([0-6]).

Llavors es marca la casella de File output per a que es guardi, i es posa a la carpeta que es vol guardar.

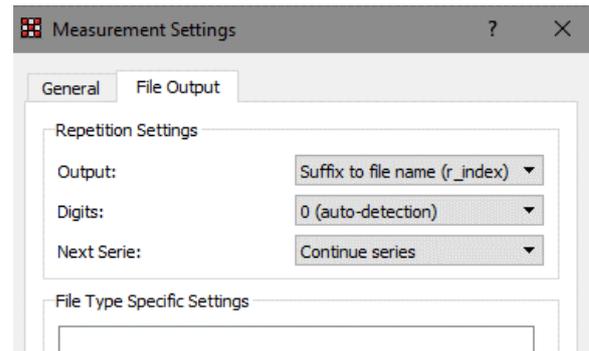
Les configuracions del detector estan a sota i són les donades pel professor.

Configuració del programa PIXet PRO per a l'experiència

A continuació es dona clic a la roda de configuració de dalt i s'obrirà una finestra:



Configuració per a borrar les dades per repetició



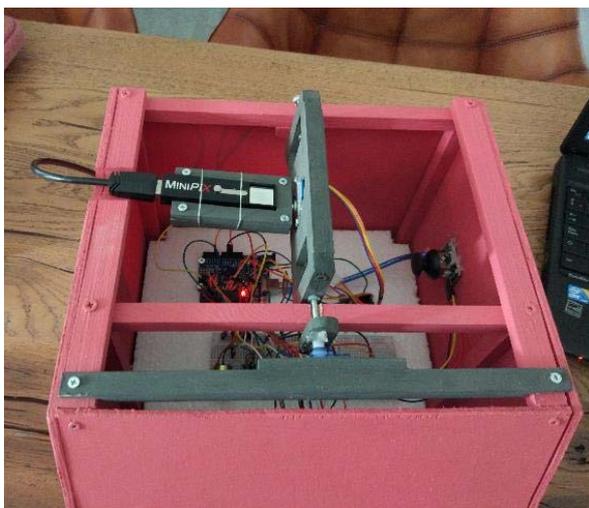
Configuració pel nom de la mesura

Aquestes configuracions permeten que per cada repetició les dades captades s'esborrin per a fer la següent detecció i es guardin a la carpeta indicada amb l'estructura de nom que es vol.

El “problema” del temps de l'ARDUINO es podia contrarestar, com ja he dit, connectant primer el dispositiu i després donant-li al “Start” en el programa. Tot i això el marge d'error és de pocs segons.

REALITZACIÓ DE L'EXPERIÈNCIA

El meu company David, qui analitza les dades que detecta el detector a les diferents posicions, necessitava captar dades de diferents llocs situats a diferents alçades. Com que jo visc a Begues que està a 400 m d'alçada respecte el mar, vaig tenir l'oportunitat de veure el dispositiu en funcionament.



Dispositiu amb el detector a Begues



Dispositiu amb el detector en funcionament a Begues

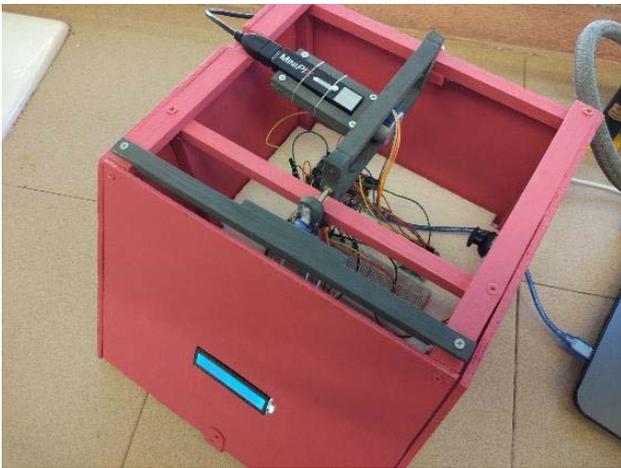


Pantalla del dispositiu en funcionament

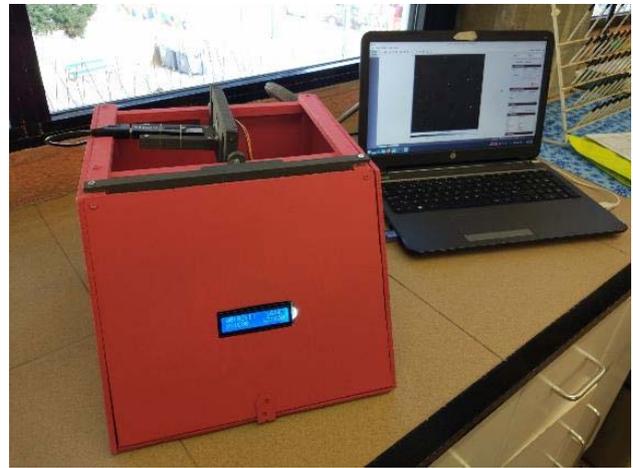
Després de tenir totes les dades requerides es va adonar que en comparació amb les dades que el professor havia fet al seu portàtil, eren molt diferents, sobretot les de 0 graus i les de 90. Per aquest motiu vaig retocar el codi per a que es pogués fer només aquestes dues mesures sense necessitat d'esperar 7 hores. La pràctica es va repetir tant a Begues com a Gavà, però els resultats van ser els mateixos.

Es va repetir l'experiència, amb les 7 mesures, a l'escola (Gavà) amb el portàtil del professor. Les dades mostrades eren molt diferents a les que nosaltres havíem captat. A més d'aquest canvi, el dispositiu no va pujar més dels 45 graus tot i que seguia funcionant.

El primer problema el va resoldre el professor. El programa que ell tenia instal·lat a l'ordinador era diferent al que teníem nosaltres, i els paràmetres per defecte eren diferents. Pel que fa al problema del dispositiu, vaig tornar a provar-lo a casa i no vaig captar cap problema. Per aquest motiu se'm va ocórrer que potser el cable del detector en el moment de la detecció estava tirant, dificultant que el servo pugés més de 45 graus. El professor va tornar a intentar-ho, aquest cop deixant el cable més lliure i posant-lo fins i tot a favor del moviment. El resultat va ser positiu. El servo no havia tingut prou forces per contrarestar la tensió del cable en la primera situació, però va poder pujar sense problemes en la segona.



Dispositiu amb el detector a Gavà (amb l'ordinador del professor)



Dispositiu amb el detector en funcionament a Gavà (amb l'ordinador del professor)

CONCLUSIONS

L'objectiu principal era introduir i aprendre més sobre la física de partícules de manera general, ser capaç d'entendre'l i finalment poder dissenyar i construir un dispositiu que pugui adaptar-se a les capacitats del detector i complementar la seva feina proporcionant diferents orientacions per aquest i enregistrant automàticament les dades rebudes.

Per introduir la teoria hi havia proposats una sèrie d'objectius, una sèrie de punts a estudiar proposats. Gran part dels punts han estat complerts i estudiats, però hi ha una petita part que a causa de la complicitat del tema no han estat assolits. M'he trobat amb un tema molt ampli i amb un nivell que, en ocasions, s'escapava de la meua capacitat actual. No es pot fer un estudi intensiu de tot el que es treballa, s'ha de saber discriminar i saber fins a quin punt de profunditat s'ha de tractar el tema. Treure la idea principal per a entendre el més bàsic i ampliar en cas necessari o d'interès.

La part pràctica proposada ha estat assolida amb èxit i m'ha ajudat a canviar la visió de les coses en general. La programació ha dut maldecaps en moltes ocasions, però gràcies a aquesta he après a resumir, simplificar i ordenar. Tot i que en un inici tot el programa estava ben ordenat, era massa llarg i costava d'entendre. A partir d'aquí he après a plantejar-ho d'una altra manera: sempre de la forma més senzilla i curta possible.

La part de construcció em va resultar molt atractiva. Era el meu objectiu principal i puc afirmar que també ha estat complerta, però no va requerir tant esforç com en la programació. Va requerir temps, molts esbossos i pensar en tot el que es tenia que tenir en compte per tal que funcionés, però em va agradar molt més que fer el programa i se'm va fer més fàcil i curt.

El dispositiu ha servit per comprovar algunes de les hipòtesis presentades teòricament al llarg de la història i també s'ha pogut observar els diferents tipus de partícules d'una manera experimental i molt palpable gràcies al detector de partícules MiniPIX proporcionat pel CERN. El meu company ha estat capaç de comparar amb èxit les dades enregistrades amb el dispositiu amb les dades que aquest projecte ens proporcionava.

Concloent, molts dels objectius inicials han estat assolits; així però, hi ha alguns que no ho han estat. En diverses ocasions el nivell d'estudis requerit per entendre el que s'estava buscant no era suficient i, per un altre costat, hi havia apartats proposats inicialment que estaven molt allunyats del tema i no tenia sentit introduir-los al treball, tot i que em semblés interessant estudiar-los.

Així doncs, amb els objectius principals complerts i els que no s'han complert, puc

afirmar que estic prou satisfeta amb el treball fet i amb l'aprenentatge assolit, així com molt agraïda per les oportunitats que se m'han estat presentades.

AGRAÏMENTS I FETS CURIOSOS

Vull agrair a la meva família el suport que m'ha proporcionat, així com a en Javier Jiménez que m'ha ajudat no només en l'estructura del codi i amb la idea de les interrupcions, sinó també a replantejar-me la forma de pensar i la forma de veure el treball. Vull agrair al professor Dani Parcerises tot l'esforç, interès i temps que ha dedicat al projecte i també al meu company David Martínez per ser un suport constant al llarg de tot el treball i sempre una ajuda. També a l'Eugeni Graugés i al Rafael Ballabriga per fer possible aquest projecte i a l'Aniol Lobo i la Laura Gimeno de la UB pels seus projectes, que han fet aquest treball més fàcil.

Hi ha certs aspectes que m'han semblat dignes d'esmentar, però que no poden tenir un apartat formal dins del treball.

Amb aquest treball he après molta teoria i m'ha semblat molt interessant haver fet aquest tema, però un cop acabat puc afirmar que he après més a treballar que sobre el treball en si (tot i que he après moltes coses noves). És a dir, he après a discriminar certs aspectes, a adaptar el que vull fer a la situació plantejada, a resoldre els problemes, a buscar motivació quan no la tinc i a prendre les coses d'una altra manera. No tot ha d'estar complet al màxim i perfecte sempre, ha d'estar bé i ha de ser adequat a la meva situació i a la situació proposada, perquè al final "el millor és enemic del bo". Com passa quan poses masses xifres significatives innecessàries i sense sentit, fer un treball molt complet en ocasions on no es demana tanta informació, també és incorrecte i manca de sentit.

REFERÈNCIES

- Col·legi Sagrada Família Gavà; 2n Batxillerat Científic i Tecnològic. Pràctica 6: Detecció de partícules. [Consulta: Setmana 11, 2019]
- ¿¿La física cuántica demuestra que hay vida después de la muerte??. jueves, (28/09/2013) [Consulta: S13, 2019]
<<http://entangledapples.blogspot.com/search/label/cu%C3%A1ntica?updated-max=2015-03-15T19:57:00-07:00&max-results=20&start=20&by-date=false>>
- Bonals, Lluís Albert; Ruiz, Rafael. Transmissió de calor, Teoria: 9.3. Cos negre. Edicions UPC, 1996 [Consulta: S13, 2019]
- Blanco, David. Schrödinger. Las paradojas cuánticas: Espectros de emisión. RBA, 2012 [Consulta: S13, 2019]
- Sabadell, Miguel Ángel. Feynman. La electrodinámica cuántica. RBA, 2012 [Consulta: S13, 2019]
- Martínez, Vicent J.; Miralles, Joan Antoni; Marco, Enric; Galadí-Enríquez, David. Astronomía fundamental. 81. PUV [Consulta: S14, 2019]
- Mercadé, Joan; Serra, Salvador; Armengol, Montserrat. Física: Bloc 3. Ones i partícules. McGrawHill. [Consulta: S14, 2019]
- Diversos autors. Cursos EnSAFAta. Tutoria. Dossier de l'alumne [Consulta: S13, 2019]
- Radiación de cuerpo negro y catástrofe ultravioleta. 10/03/2014 [Consulta: S14, 2019]
<<https://losmundosdebrana.com/2014/03/10/radiacion-de-cuerpo-negro-y-catastrofe-ultravioleta/>>
- L'espai i el temps en la física moderna. (01/1983) [Consulta: S14, 2019]
<<http://revistes.iec.cat/index.php/ciencia2/article/viewFile/123530/122280>>
- És homogeni l'univers? (01/07/1999) [Consulta: S14, 2019]
<<https://metode.cat/revistes-metode/opinio/es-homogeni-lunivers.html>>
- CERN@school. [Consulta: S14, 2019]
<<https://cernatschool.web.cern.ch/>>
- The INSTITUTE for RESEARCH in school. [Consulta: S14, 2019]
<<http://www.researchinschools.org/CERN/home.html>>
- Experimento Thomas Young. [Consulta: S19, 2019]
<<https://www.ucm.es/data/cont/docs/136-2015-01-27-EXPERIMENTO%20DE%20YOUNG.pdf>>

- Dualitat ona-partícula. (16/07/2013) [Consulta: S16, 2019]
<<http://www.recercaenaccio.cat/basic/dualitat-ona-particula/>>
- La llum: partícules, ones... (09/03/2016) [Consulta: S16, 2019]
<<http://aulesgirona.cat/2016/03/09/la-nuria-fa-un-llibre/>>
- Thomas Young y la naturaleza ondulatoria de la luz. [Consulta: S16, 2019]
<<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/grandes-personajes/thomas-young-y-la-naturaleza-ondulatoria-de-la-luz/>>
- Teoría nuclear. (15/05/2013) [Consulta: S19, 2019]
<<http://lateorianuclear.blogspot.com/>>
- Boixaderas, Núria; Jesús, Maria; Lladó, Núria; Vidal, María del Carmen. Química: Els àtoms. Santillana, 2016 [Consulta: S19, 2019]
- Joseph, Joan; Hoyos, Roger; Garravé, Jaume; Garófano, Francesc; Vila, Francesc. Tecnologia industrial. McGrawHill Edycation, 2017 [Consulta: S19, 2019]
- Salvador, Esther. Apunts tecnologia. [Consulta: S21, 2019]
- X-ray unit, 35 kV, basic unit. *PHYWE*. [Consulta: S21, 2019]
- Las radiacions. [Consulta: S21, 2019]
<<https://www.csn.es/las-radiaciones>>
- Radiaciones ionizantes y no ionizantes. [Consulta: S21, 2019]
<http://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/2radiaciones_ionizantes_y_no_i onizantes.html>
- Fuentes de exposición a la radiación. [Consulta: S21, 2019]
<<https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/lesiones-causadas-por-la-radiaci%C3%B3n/lesiones-causadas-por-la-radiaci%C3%B3n>>
- Campo eléctrico. [Consulta: S23, 2019]
<https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/campos-electromagneticos/glosario/abc/campo-electrico.htm>
- Experimento de Herschel en la banda infraroja. [Consulta: S23, 2019]
<<http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/herschel/experiment.shtml>>
- Radiaciones electromagnéticas. [Consulta: S23, 2019]
<<https://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>>
- Radiaciones no ionizantes. [Consulta: S23, 2019]
<<https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/lectura-recomendada/radiaciones-no-ionizantes-ejemplos/>>

- Tipos de partículas en el universo. [Consulta: S23, 2019]
<<https://www.astromia.com/universo/tipoparticula.htm>>
- Boixaderas, Núria; Jesús, Maria; Lladó, Núria; Guardia, Cristina; Menéndez, Ana Isabel; Pous, Anna; de Prada, Fernando. Química: Estructura atòmica de la matèria. Santillana, 2016 [Consulta: S23, 2019]
- Peter Higgs. (07/07/2012) [Consulta: S35, 2019]
<<https://www.meneame.net/c/10998965>>
- Pràctica física làser de 2n Batxillerat del col·legi SAFA Gavà. [Consulta: S42, 2019]
- Feynman diagram. (20/09/2019) [Recuperado: S44, 2019]
<https://en.wikipedia.org/wiki/Feynman_diagram>
- Camara de niebla. (01/11/2019) [Recuperado: S44, 2019]
<https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_de_niebla>
- La antimatèria. [Consulta: S44, 2019]
<<https://astrojem.com/antimateria.html>>
- Qué es la antimateria y porque no pares de oír sobre ella en las películas. (28/09/2019) [Consulta: S44, 2019]
<<https://computerhoy.com/reportajes/life/que-es-antimateria-497857>>
- Antimateria. [Consulta: S44, 2019]
<<https://www.meteorologiaenred.com/antimateria.html>>
- “Logran por primera vez ver el espectro de la antimateria” ABCciencia. [Madrid] (20/12/2016) [Consulta: S44, 2019]
<https://www.abc.es/ciencia/abci-logran-primera-espectro-antimateria-201612201000_noticia.html>
- Casas, Alberto. “El descubrimiento del bosón de Higgs” Investigación y ciencia. (01/08/2012) [Consulta: S46, 2019]
<<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-ecosistema-interior-556/el-descubrimiento-del-bosn-de-higgs-9362>>
- Higgs Asociados a tops. Ciencia y investigación. (24/04/2018) [Consulta: S46, 2019]
<<https://www.investigacionyciencia.es/noticias/higgs-asociados-a-tops-16334>>
- Los experimentos ATLAS y CMS del LHC presentan el estado de la búsqueda del bosón de Higgs. (13/12/2013) [Consulta: S46, 2019]
<<https://www.i-cpan.es/es/content/los-experimentos-atlas-y-cms-del-lhc-presentan-el-estado-de-la-b%C3%BAsqueda-del-bos%C3%B3n-de-higgs>>
- Peter Higgs (15/12/2019)[Recuperado: S46, 2019]

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Peter_Higgs>
- De Rújula, Álvaro. “El bosón de Higgs” Lychnos. [Consulta: S51, 2019]
<http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/boson_de_higgs>
 - Qué es el bosón de Higgs? [Consulta: S51, 2019]
<<https://www.i-cpan.es/detallePregunta.php?id=1>>
 - “Bosón de Higgs: Qué es y por qué es tan importante” La voz de Galicia. (06/07/2012) [Consulta: S51, 2019]
<<https://www.lavozdegalicia.es/noticia/sociedad/2012/07/04/boson-higgs-importante/00031341426666016949655.htm>>
 - Casas, Alberto. “El descubrimiento del bosón de Higgs” Investigación y ciencia. (01/08/2012) [Consulta: S51, 2019]
<<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-ecosistema-interior-556/el-descubrimiento-del-bosn-de-higgs-9362>>
 - Higgs Asociados a tops. Ciencia y investigación. (24/04/2018) [Consulta: S51, 2019]
<<https://www.investigacionyciencia.es/noticias/higgs-asociados-a-tops-16334>>
 - “Logran por primera vez ver el espectro de la antimateria” ABCciencia. [Madrid] (20/12/2016) [Consulta: S51, 2019]
<https://www.abc.es/ciencia/abci-logran-primera-espectro-antimateria-201612201000_noticia.html>
 - Radiación de fondo de microondas. (10/11/2019) [Recuperado: S52, 2019]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_de_fondo_de_microondas>
 - El espectro de la radiación cósmica de fondo. [Consulta: S52, 2019]
<http://astroverada.com/_/Main/T_cmb.html>
 - Riveiro, Alex. “La radiación de fondo de microondas y la misteriosa Mancha fría” (02/07/2017) [Consulta: S52, 2019]
<<https://www.astrobitacora.com/radiacion-microondas-y-mancha-fria/>>
 - Radiación de fondo. [Consulta: S52, 2019]
<<https://projects.ift.uam-csic.es/outreach/images/radiacionfondo.pdf>>
 - Diaz, Jorge. “Qué es la radiación de fondo de microondas?” (21/03/2013) [Consulta: S52, 2019]
<<https://conexioncausal.wordpress.com/2013/03/21/que-es-la-radiacion-de-fondo-de-microondas/>>
 - Wilson, Robert (1936 -) y Penzias, Arno (1933 -) [Consulta: S52, 2019]
<http://www3.gobiernodecanarias.org/aciisi/cienciasmc/web/biografias/robert_wilso>

- n.html>
- Manual del Pixet Pro. Activitats amb Detectores Medipix per Investigar la Radiació a l'Aula. Admira [Consulta: S52, 2019]
<https://serviparticules.ub.edu/sites/serviparticules/files/2019-11/fitxer3_DocumentacioPixetpro.pdf>
 - Detecció de partícules. [Consulta: S43, 2019]
<file:///D:/TR/TR%20deteccio%20particules/Teoria%20i%20presentacions/RadiacioCatala1_simplificat2.pdf>
 - Gimeno, Laura. Pràctica senyal. [Consulta: S43, 2019]
 - Salvador, Esther; García, Víctor M.; Mora, Genís. Centrals nuclears. (2018) [Consulta: S43, 2019]
 - MiniPIX. Datasheet. Advacam. [Consulta: S40, 2019]
<<file:///C:/Users/PEPI/Downloads/MiniPIX-Datasheet-v2-45fps-2017-11-08.pdf>>
 - MiniPIX. Portable small USB Camera. Advacam [Consulta: S40, 2019]
<<https://advacam.com/camera/minipix>>
 - Silicio-Si. [Consulta: S41, 2019]
<<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/si.htm#ixzz696eFRH1A>>
 - Varios autores. “Silicio”. (09/12/2019) [Recuperado: S51, 2019]
<<https://es.wikipedia.org/wiki/Silicio>>
 - Silicio. Elementos de la tabla periódica y sus propiedades. [Consulta: S51, 2019]
<<https://elementos.org.es/silicio>>
 - Mártel, Ignacio. “Silicio, la materia prima de dos revoluciones: la electrónica y la energética “ Publico [Madrid](18/11/2016) [Consulta: S51, 2019]
<<https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2016/11/18/silicio-la-materia-prima-de-dos-revoluciones-la-electronica-y-la-energetica/>>
 - Tema 6: Detectores de radiación. Licenciatura en física. [Consulta: S51, 2019]
<<https://www.ugr.es/~amaro/radiactividad/teoria/tema6.pdf>>
 - Ramos, David. “Detección y dosimetría de la radiación” Servicio de radiofísica y protección radiológica. HGU Santa Lucía [Consulta: S51, 2019]
<https://www.ffis.es/ups/proteccion_radiologica_radiologia_intervencionista/TEMA%207%20DETECCION%20Y%20DOSIMETRIA%20DE%20LA%20RADIACION.pdf>
 - Alcaraz, Miguel. “Tema 4: Detección de radiación ionizante” [Consulta: S51, 2019]
<[file:///C:/Users/PEPI/Downloads/t4%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PEPI/Downloads/t4%20(1).pdf)>

- Diversos autores. Cursos EnSAFAta. Tutoria. Pauta abstract [Consulta: S52, 2019]
- What is Arduino? ARDUINO [Consulta: S25, 2019]
<<https://www.arduino.cc/>>
- “Why is Arduino?”. ARDUINO [Consulta: S25, 2019]
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>
- Llamas, Luis. “Qué son y cómo utilizar interrupciones en Arduino”(28/04/2016)[Consulta: S34, 2019]
<<https://www.luisllamas.es/que-son-y-como-usar-interrupciones-en-arduino/>>
- Hernández, Luis del Valle. “Motor paso a paso 28BYJ-48 con Arduino” [Consulta: S31, 2019]
<<https://programarfacil.com/blog/motor-paso-a-paso/>>
- Llamas, Luis. “Motor paso a paso 28BYJ-48 con Arduino y driver ULN2003” (13/08/2016) [Consulta: S31, 2019]
<<https://www.luisllamas.es/motor-paso-paso-28byj-48-arduino-driver-uln2003/>>
- Robots didácticos. [Consulta: S31, 2019]
<<http://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-motor-paso-a-paso-28byj-48-y-modulo-uln2003/>>
- Language Reference. Arduino. [Consulta: S30-35, 2019]
<<https://www.arduino.cc/reference/en/>>
- Gallardo, Daniel. Apuntes de ARDUINO Nivel Pardillo. DGG [Consulta: S25-35, 2019]
- Gallardo, Daniel. Apuntes de ARDUINO Nivel Enteraillo. DGG [Consulta: S25-35, 2019]

ANNEXOS

ÍNDEX

ANNEX 1: Pràctica detector TimePix	71
ANNEX 2: PRÀCTICA DUALITAT DE LA LLUM – EXPERIMENT DE YOUNG	76
OBJECTIUS	76
MATERIAL UTILITZAT	76
PROCEDIMENT	76
RESULTATS I CONCLUSIONS	77
ANNEX 3: PRÀCTICA UB: RAIGS X	83
OBJECTIU	83
MATERIAL UTILITZAT	83
PROCEDIMENT	84
RESULTATS	85
CONCLUSIONS	92
ANNEX 4: TEORIA NUCLEAR	93
ENERGIA NUCLEAR.....	93
RADIOACTIVITAT	93
REACCIONS NUCLEARS	94
<i>Reaccions de fusió</i>	95
<i>Reaccions de fissió</i>	97
ANNEX 5: ISOTROPIA DE L'ESPAI	100
OBJECTIU	101
MATERIAL UTILITZAT	101
PROCEDIMENT:.....	101
RESULTATS	101
CONCLUSIONS	102

ANNEX 1: Pràctica detector TimePix

Aquesta serà una pràctica introductòria per tal de saber com funciona el detector

Material

- Detector TimePix.
- Ordinador.
- Programari Pixet Pro.
- Full de càlcul.
- Mostra radioactiva.
- Guants de plàstic.
- Cullereta.
- Pinces.

Muntatge de l'experiència

En aquesta experiència utilitzarem el detector en dos modes diferents i per tant caldrà fer dues mesures amb parametritzacions diferents del programa. Quan acabis la primera, completa la secció adquisició i enregistrament de les dades.

Connecta el detector a un port USB de l'ordinador, sense obrir la protecció.

En primer lloc ens assegurarem que el programa connecta amb el detector, seleccionant el boto Show Chip Numbers de la Toolbar. Al quadre ha d'aparèixer en gran, G08-W0253. Si no es així, avisar al professor abans de continuar.

1. Determinació de les trajectòries

Un cop estiguis segur de que el detector es comunica correctament amb el programa, fixa la ratio de la imatge al menú *View* i selecciona el color Jet White a la *Toolbar*. Val la pena que premis el boto *grid* per a una millor visualització dels píxels del sensor.

Per a fer aquestes mesures, cal que configuris el detector amb la parametrització que es mostra a la imatge lateral.

Obriu la porta de protecció del detector.

Apropeu la mostra radioactiva al sensor i premeu el boto Start per iniciar la captura de dades. Com hem seleccionat el mode integral, els quadres que detecta es van acumulant.

A mesura que es van obtenint dades veureu 3 tipus de trajectòries, una per a cada tipus de radiació.

Veureu trajectòries grans i arrodonides, anomenades Blobs (gotes) causades per les partícules alfa. Mes comunes son unes trajectòries llargues i sovint corbades, anomenades Worms (cucs), produïdes per la radiació beta d'alta energia. Finalment, la radiació beta de baixa energia i la radiació gamma produeixen trajectòries petites i curtes, normalment de un (o pocs) píxels. No es possible distingir quin tipus de radiació ha produït aquestes trajectòries amb el nostre detector.

Quan s'aturi el procés d'obtenció de dades, tanqueu el protector.

2. Energia cinètica absorbida pel sensor i velocitat de les partícules en els models clàssic i relativista.

A continuació anem a treballar en mode energia. Una partícula detectada en el xip pot ser absorbida al sensor i dipositar-hi tota la seva energia cinètica (com passa en el cas de les partícules alfa i les beta de baixa energia) o travessa tot el detector dipositant només una part de la seva energia (cas de les partícules beta d'alta energia).

Parametritzeu el detector com a la imatge.

Pot ser interessant seleccionar l'opció *Auto range*, que ajustarà el color de l'energia detectada a cada píxel mostrat a la imatge.

Obriu la porta de protecció del detector.

Apropeu la mostra radioactiva al sensor i premeu el boto Start per iniciar la captura de dades. Com hem seleccionat el mode Frames, cada quadre detectat substitueix el quadre anterior.

Quan el procés d'obtenció de dades finalitzi, tanqueu el protector del xip.

Si observeu el panell *Image Info*, veureu una sèrie de valors interessants, com el valor màxim d'energia detectada i el total d'energia que s'ha dipositat en les partícules detectades al quadre que es mostra. Aquest es el valor d'energia cinètica que tenia la partícula a l'entrar al detector.

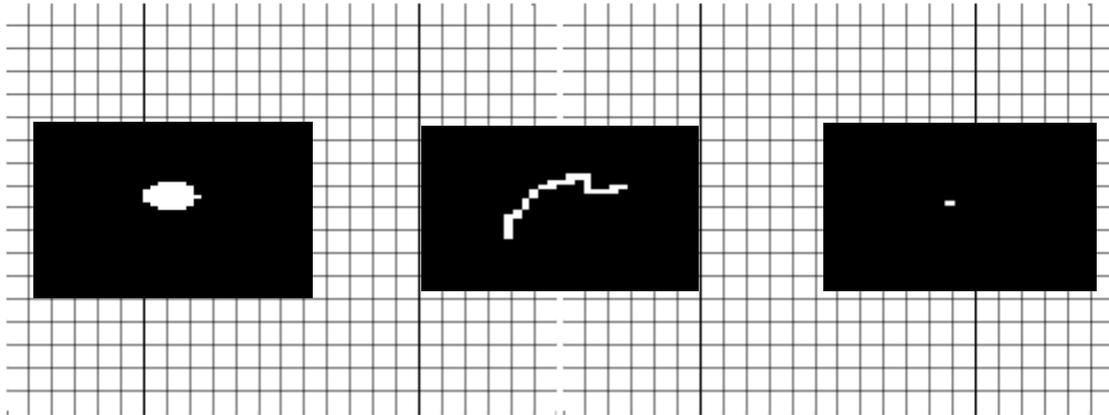
Aneu passant pels diferents quadres amb el selector de la Toolbar i feu zoom sobre diferents trajectòries de les partícules alfa, beta i gamma de manera que apareguin soles a la imatge. Anoteu l'energia que apareix al panell Imatge Info per a cada una de les partícules. Aquest valor està calibrat en keV.

Tanqueu de nou la protecció del sensor.

Adquisició i enregistrament de les dades

1 Determinació de trajectòries.

1.1 Dibuixa a continuació una de les trajectòries d'una partícula alfa, una partícula beta i una partícula gamma i etiqueta cada un dels tipus.



La primera correspon a una alfa, la del mig a una beta i la última a una gamma.

1.2 Busca a internet la massa en repòs i calcula l'energia en repòs que tenen les partícules alfa i beta:

$$m\alpha = 6'64 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

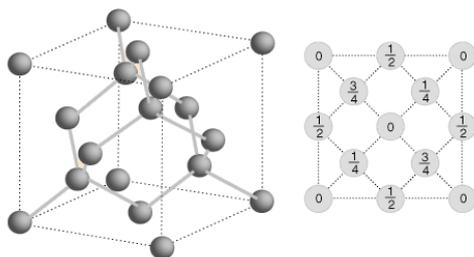
$$E\alpha = m\alpha \cdot c^2 = 5'976 \cdot 10^{-10}$$

$$m\beta = 9'101 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$E\beta = m\beta \cdot c^2 = 8'191 \cdot 10^{-14}$$

1.3 A partir de les característiques que tenen les partícules de cada tipus de radiació, fes hipòtesis de com aquestes partícules interaccionen amb els àtoms de silici i son detectades pel sensor, donant lloc als diferents tipus de trajectòries (aprox. 50 paraules)

La marca que deixen en el detector ve donada per la forma, mida i energia de les partícules i la xarxa cristal·lina del silici. Les partícules alfa com són grans i tenen major càrrega, xoquen amb la xarxa cristal·lina del silici i deixen una marca gran al detector. Les partícules beta al ser més petites i energètiques passen pel mig de la xarxa, entre les



partícules, i per això deixa una marca allargada.

Finalment les gamma són fotons més energètics que no tenen cap problema amb la xarxa, per això la travessen i deixen la marca del fotó, un punt.

Taula 1 Xarxa cristal·lina del silici

2. Energia cinètica absorbida pel sensor i velocitat de les partícules alfa en els models clàssic i relativista.

Per a fer els càlculs, crea un full de càlcul a drive de nom PF6_COGNOM_NOM i comparteix-lo amb el professor. Crea una taula com la següent. Anota els resultats en aquesta taula. Per a fer els càlculs caldrà fer canvis d'unitats.

EK [keV]	8008	7663	11331	8247	10416
EK [J]	1,283E-12	1,228E-12	1,815E-12	1,321E-12	1,669E-12
v [m/s] (relat.)	1,963E+07	1,920E+07	2,333E+07	1,992E+07	2,237E+07
v [m/s](class.)	1,966E+07	1,923E+07	2,338E+07	1,995E+07	2,242E+07
v/c (relat.)	6,542E-02	6,400E-02	7,777E-02	6,639E-02	7,458E-02
v/c (clàssica)	6,553E-02	6,410E-02	7,795E-02	6,650E-02	7,473E-02
Desviació (%)	1,608E-01	1,539E-01	2,274E-01	1,656E-01	2,091E-01

2.1. Anota en el full de càlcul el valor de les energies cinètiques que has mesurat per a les partícules alfa.

2.2. Calcula el valor de la velocitat de les partícules, tant amb el model clàssic com amb el model relativista.

2.3. Valora a continuació la correcció, o no, dels dos models per a descriure l'energia d'aquest tipus de partícules.

Aquest tipus de partícules es mouen a una velocitat molt elevada. Per aquest motiu els cossos pateixen canvis que no es tenen en compte en el mètode clàssic i cal recórrer al mètode relativista. Utilitzar el mètode clàssic amb aquestes partícules és incorrecte tot i que els resultats siguin propers (donat que les partícules alfa no es mouen a una velocitat tan propera a la de la llum com les beta o les gamma).

3. Energia cinètica absorbida pel sensor i velocitat de les partícules beta en els models clàssic i relativista.

En una nova pagina del full de càlcul a drive crea una taula com la següent. Anota els resultats en aquesta taula.

EK [keV]	2028	2615	2416	2010	2250
EK [J]	3,249E-13	4,190E-13	3,871E-13	3,220E-13	3,605E-13
v [m/s] (relat.)	2,939E+08	2,960E+08	2,954E+08	2,938E+08	2,948E+08
v [m/s](class.)	8,450E+08	9,595E+08	9,223E+08	8,412E+08	8,901E+08
v/c (relat.)	9,795E-01	9,865E-01	9,846E-01	9,792E-01	9,827E-01
v/c (clàssica)	2,817E+00	3,198E+00	3,074E+00	2,804E+00	2,967E+00
Desviació (%)	9,679E+01	1,057E+02	1,030E+02	9,647E+01	1,005E+02

3.1. Anota en el full de càlcul el valor de les energies cinètiques que has mesurat per a les partícules beta.

3.2. Calcula el valor de la velocitat de les partícules, tant amb el model clàssic com amb el model relativista.

3.3. Valora a continuació la correcció, o no, dels dos models per a descriure l'energia d'aquest tipus de partícules.

Com passa amb les partícules alfa, les beta van a una velocitat molt propera a la velocitat de la llum. De fet és pràcticament la mateixa, per tant utilitzar el mètode clàssic per aquestes partícules queda completament descartat. De fet si veiem la velocitat que ens dóna amb el model clàssic ens trobem que resulta un valor major a la velocitat de la llum, més del doble. Això no té cap mena de sentit ja que no hi ha res que vagi més ràpid que la velocitat de la llum. Amb aquestes partícules s'ha de treballar amb el mètode relativista.

4. Energia cinètica absorbida pel sensor i característiques de les partícules gamma.

En una nova pagina del full de càlcul a drive crea una taula com la següent. Anota els resultats dels càlculs a continuació

EK [keV]	209	81	177	151	95
EK [J]	3,35E-14	1,3E-14	2,84E-14	2,42E-14	1,5E-14
f (Hz)	5,06E+19	2,0E+19	4,28E+19	3,65E+19	2,3E+19
λ (m)	5,93E-12	1,5E-11	7,00E-12	8,21E-12	1,3E-11
p	1,12E-22	4,3E-23	9,45E-23	8,06E-23	5,1E-23

4.1 Anota en el full de càlcul, en una nova pagina, el valor de les energies cinètiques que has mesurat per a 5 partícules gamma.

4.2 Calcula el valor de la freqüència del fotó, de la seva longitud d'ona i de la quantitat de moviment que ha cedit el fotó a l'àtom de silici.

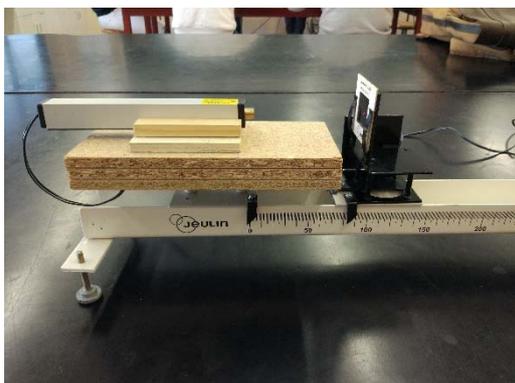
ANNEX 2: PRÀCTICA DUALITAT DE LA LLUM – EXPERIMENT DE YOUNG

OBJECTIUS

- Demostrar i observar el comportament ondulatori de la llum
- Trobar λ i comparar-la amb la que dona el làser

MATERIAL UTILITZAT

- Làser
 λ del làser: 630-650 nm
- Diferents esletxes
- Banc òptic



Làser amb l'esletxa col·locada



Experiment muntat amb el banc òptic, el làser i el subjecta-esletxes

PROCEDIMENT

A un extrem del banc òptic es situarà el làser. A uns 1000mm del làser estarà l'esletxa. S'observarà l'efecte de l'esletxa sobre el làser a 5 distàncies diferents i a partir d'aquestes dades es traurà λ .

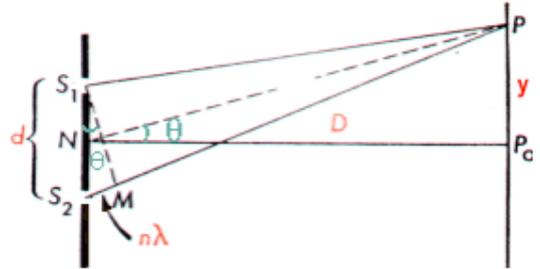
Després l'esletxa es mourà fins a uns 9cm del làser i es farà el mateix amb 4 esletxes, l'una més gran que l'anterior, i es comentarà. En un inici la idea era treballar amb aquestes mesures, però durant l'experiència es va observar que l'altra graella donava resultats més clars.

Finalment s'observaran graelles de diferents patrons i es comentaran.

La teoria que utilitzaré per fer els càlculs ve donada per la pràctica escrita de física de 2n de batxillerat a l'escola Sagrada Família de Gavà. Aquesta diu:

“Es tractarà de reproduir l'experiment de Young, fent passar un feix de llum làser per dues esclertes i analitzant el patró d'interferències produït.

Si es considera una direcció determinada, on la diferència de camins de la llum emesa per dues ranures adjacents és x , es compleix que $\sin \theta = \Delta x/d$, sent d la separació entre dues ranures. En produir-se interferències dels diversos feixos de llum s'observen zones lluminoses (interferències constructives) i zones fosques (interferències destructives).



Hi ha interferència constructiva en aquelles direccions que la diferència de camins és múltiple de la longitud d'ona: $\Delta x = n\lambda$ per $n = 0,1,2,\dots$. Per tant, hi ha interferència constructiva en les direccions que compleixen: $\sin \theta = n\lambda/d$, per $n=0,1,2,\dots$ sent d

la separació entre ranures i θ l'angle que fa el raig desviat respecte a la direcció d'incidència i n un nombre enter. Aquesta equació s'anomena equació de Bragg.

Per $n=0$ es dona la interferència d'ordre zero

Per $n=1$ la de primer ordre

Per $n=2$ la de segon ordre, etc.

Per a la interferència de primer ordre i aproximant $\tan \theta = \sin \theta = \theta$ obtenim:

$$d \cdot y = D \cdot \lambda$$

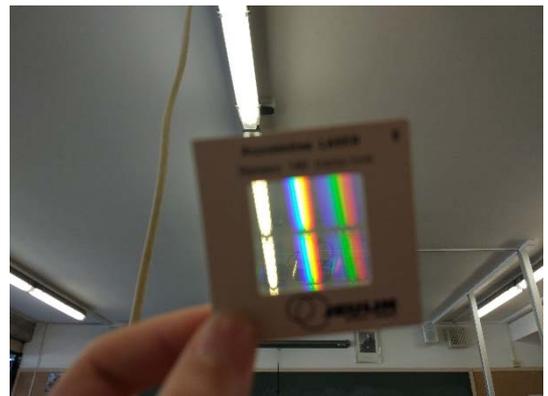
on d és la separació de les esclertes, y la distància entre el màxim d'interferència d'ordre 0 i d'ordre 1, D la distància entre les esclertes i la pantalla i λ la longitud d'ona de la llum.”

RESULTATS I CONCLUSIONS

- Réseau 140 (140 línies/mm)



imatge de l'esclerta utilitzada



Refracció de la llum a través de la graella

Calcularé λ a través de l'equació esmentada a l'enunciat de la pràctica:

$$\lambda = \frac{d \cdot y}{D}$$

En aquest cas sabem que d serà $\frac{1}{140}$ mm ja que ens diu que hi ha 140 línies per cada mm.

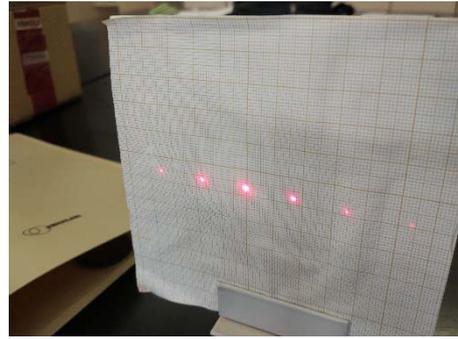
- **1-1,15 m**

$$y = 17 \text{ mm}$$

$$D = 150 \text{ mm}$$

Càlcul:

$$\lambda = 809 \text{ nm}$$



Patró d'interferència del làser a 150mm de l'esclatxa

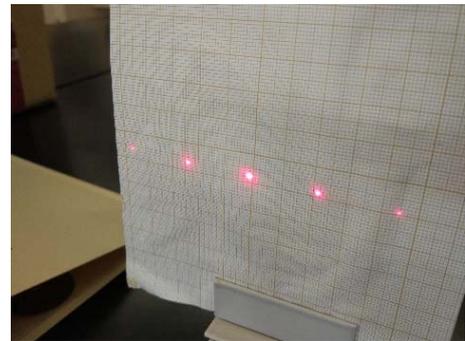
- **1-1,2cm**

$$y = 23 \text{ mm}$$

$$D = 200 \text{ mm}$$

Càlcul:

$$\lambda = 821 \text{ nm}$$



Patró d'interferència del làser a 200mm de l'esclatxa

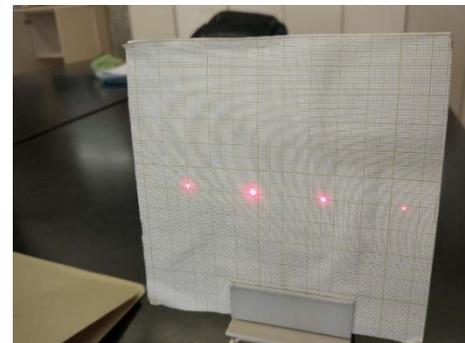
- **1-1,25cm**

$$y = 28 \text{ mm}$$

$$D = 250 \text{ mm}$$

Càlcul:

$$\lambda = 800 \text{ nm}$$



Patró d'interferència del làser a 250mm de l'esclatxa

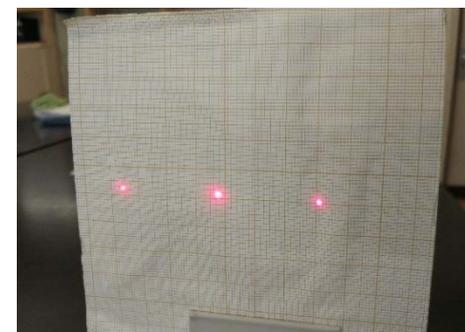
- **1-1,3cm**

$$y = 33 \text{ mm}$$

$$D = 300 \text{ mm}$$

Càlcul:

$$\lambda = 785 \text{ nm}$$



Patró d'interferència del làser a 300mm de l'esclatxa

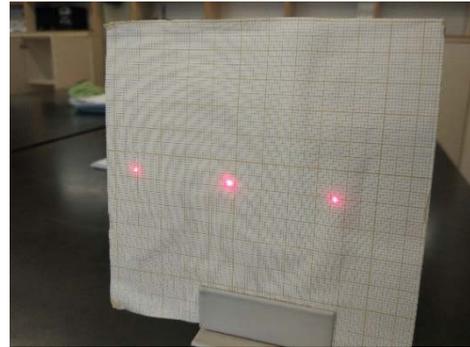
- **1-1,35cm**

$$y = 38 \text{ mm}$$

$$D = 350 \text{ mm}$$

Càlcul:

$$\lambda = 775 \text{ nm}$$



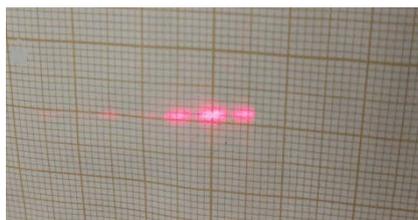
Patró d'interferència del làser a 350mm de l'esletxa

Mitjana de $\lambda = 798 \text{ nm}$

Segons la informació que et dóna el làser, λ hauria d'estar entre els 630 – 650 nm. La mitjana de totes les dades recollides és de 798 nm. És un resultat prou bo per a la poca precisió que es té. Cal tenir en compte l'error de la distància entre l'esletxa i la pantalla on es recull el patró d'interferències, el marge d'error de la mesura entre la distància entre el màxim d'interferència d'ordre 0 i d'ordre 1, que són errors instrumentals, i la precisió amb la que s'han obtingut aquests números. Així doncs, 798nm és un número bastant bo que està en l'ordre de magnitud adequat i és força proper al que hauria de donar.

- **Esletxa de diferents mesures**

- **Petita**

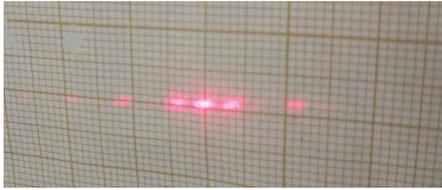


Patró d'interferència de l'esletxa petita a 1700mm de l'esletxa

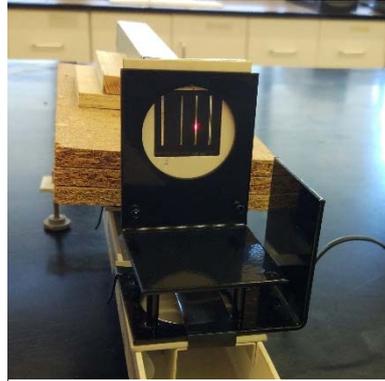


Muntatge de l'esletxa petita

- **Petita mitjana**

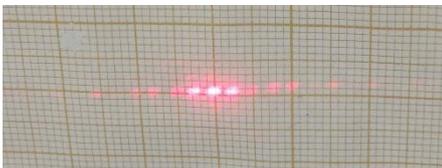


Patró d'interferència de l'esletxa petita mitjana a 1700mm de l'esletxa



Muntatge de l'esletxa petita mitjana

- **Gran mitjana**

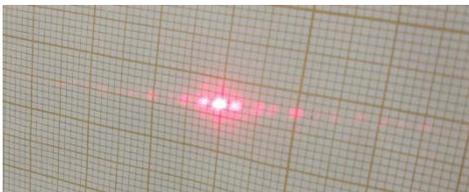


Patró d'interferència de l'esletxa gran mitjana a 1700mm de l'esletxa

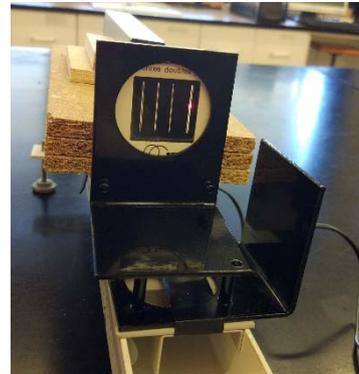


Muntatge de l'esletxa gran mitjana

- **Gran**



Patró d'interferència de l'esletxa gran a 1700mm de l'esletxa



Muntatge de l'esletxa gran

Es pot veure a simple vista que l'error en aquests 4 casos és més gran que en el de la graella primera. És molt més difícil determinar les distàncies entre les interferències i caldria un instrument de mesura més precís. Això es dona perquè la distància entre les esletxes de la primera graella és molt més petita, fent que hi hagi major difracció.

- **Altres:**

Per últim s'observarà que fa la llum amb les quatre graelles de la imatge de la dreta.

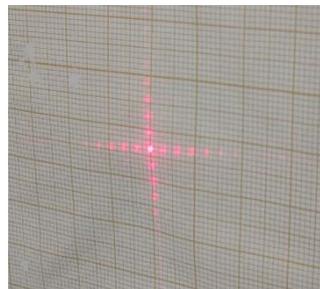


Les 4 graelles que s'utilitzaran

• **Grille I**

A la imatge *Grille I* s'observa que és una graella de patró a quadres.

En el patró d'interferència s'observa com resulta en forma de creu principalment i es veu unes marques amb menys intensitat al voltant. Això es dona perquè s'estan donant



Patró d'interferència amb el Grille I

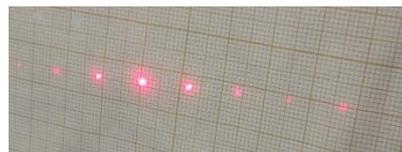


Grille I

interferències amb les esclatxes verticals i horitzontals simultàniament. Es veu en forma de creu pel tamany del raig.

• **Grille II**

El *Grille II* també és una graella a quadres però els quadres són més grans. Com a conseqüència el patró d'interferència observat canvia. No



Patró d'interferència amb el Grille II

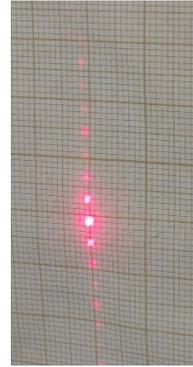
es creen interferències verticals com en el cas anterior.



Grille II

- **Réseau I**

En el *Réseau I* la graella consta de ratlles horitzontals. Per això el patró mostrat és semblant al de les graelles verticals. La interferència en aquest cas en comptes de mostrar-se horitzontal es mostra vertical.



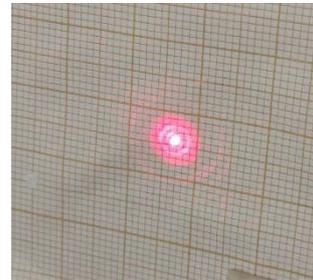
Patró d'interferència amb el Réseau I



Réseau I

- **Réseau circulaire**

En el *Réseau circulaire* la graella està feta a partir de circumferències. En aquest cas es pot observar que no es forma difracció de la mateixa manera als casos anteriors, sinó que es mostra el dibuix de la graella tal i com és. Això pot ser per dos motius: o bé la distància entre les esclatxes no és prou petita i no s'està



Patró d'interferència amb el Réseau circulaire



Réseau circulaire

donant la difracció del làser, o bé la difracció s'està donant circularment. És a dir, s'està donant la difracció de forma radial, per tots els costats iguals.

Tot i que a la imatge no s'aprecia gaire, es pot veure com el patró de circumferència segueix més enllà del centre on està la llum. Així doncs, crec que es pot afirmar que sí s'està donant la difracció de la llum i que ho està fent mostrant un patró continuat, tancat, ja que l'esclatxa és una circumferència tancada.

ANNEX 3: PRÀCTICA UB: RAIGS X

OBJECTIU

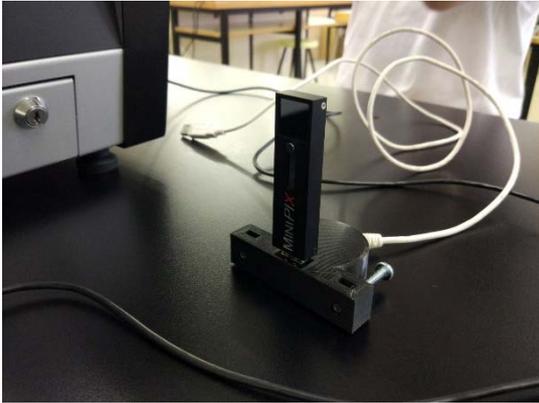
- Observar l'absorció dels raigs X de diferents materials.

MATERIAL UTILITZAT

- X-ray unit, 35 kV, basic unit
- Filtre i font de raigs X de Molibdè
- Cartolina i cinta adhesiva
- Peça per recolzar el detector
- Peça per subjectar les mostres
- Material observat
 - o Targeta micro SD
 - o Cable de coure recobert de plàstic
 - o Pitòspor congelat
 - o Pitòspor normal
 - o Pitòspor sec
 - o Fruit X
 - o Fruit de palmera madur
 - o Fruit de palmera poc madur
 - o Caragol de mar
 - o Rellotge
 - o Bales de Plom
 - o Pota de pollastre
 - o Tomàquet
 - o Moneda de 20 cèntims
 - o Moneda de 50 cèntims

PROCEDIMENT

Primer es col·loca el detector davant la font de raigs X per tal que es mantingui vertical i la font quedi alienada amb la placa del detector. Per fer-ho s'ha utilitzat un recolzador pel detector que permetia connectar un cable per a connectar-se amb l'ordinador i el programa de detecció.



Detector amb el recolzador



Detector alienat amb la font de raigs X

A continuació es prepara una peça per a deixar les mostres davant de la font per a que, quan la màquina estigui en marxa, els raigs X passin pel material abans d'arribar a la placa del detector i així observar quina capacitat d'absorció té cada material. En aquest cas aquesta peça és un recolzador de metall i les mostres estan subjectades amb cinta adhesiva a una cartolina. Aquesta cartolina està subjectada al recolzador mitjançant uns imants, tal i com es mostra a la imatge:



Cartolina de les mostres agafada amb imants

La primera detecció és sense cap material per observar com queda impactat al detector, i a partir d'aquesta es van col·locant tots els materials l'un darrere l'altre.

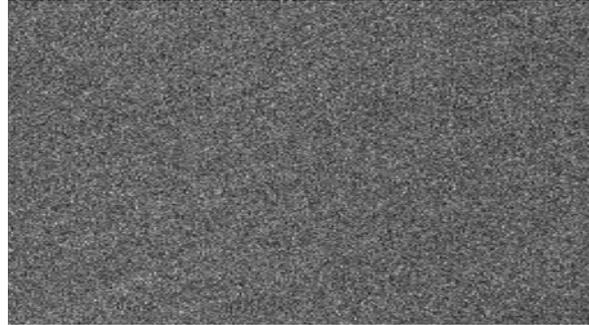
La màquina té un sistema de seguretat que impedeix que la màquina emeti raigs X quan aquesta no està ben tancada. Per això entre mostra i mostra cal assegurar-se que la màquina està ben tancada per tal que funcioni.

RESULTATS

Primer s'ha observat com queda impactada la placa del detector quan no hi ha cap material per detectar. Es programa la màquina per a què treballi a 32kV i 0,1mA durant 2 minuts. El valor màxim detectat és d'uns 50 aproximadament. Posant la màquina a 32kV i a 1mA el valor màxim és de 900 aproximadament.



Detecció sense cap material



Detecció sense mostra

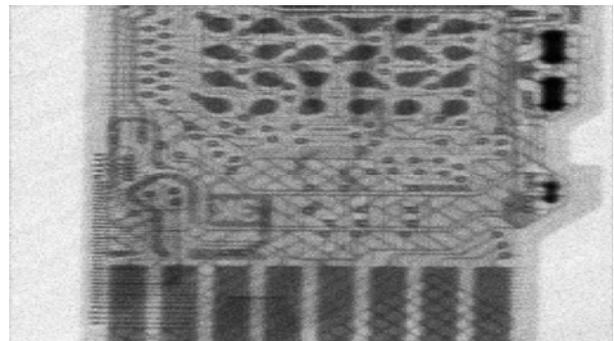
A partir d'ara els raigs X s'han observat a través del detector quan travessaven diferents materials. Aquests materials estaran subjectats amb cinta adhesiva, com bé s'ha esmentat abans. La màquina s'ha mantingut a 32kV i a 1mA, i el detector captava 30 frames de 2 segons d'exposició de raigs X. A continuació es separaran les mesures depenent del material que ha estat utilitzat:

MICRO SD

Primer es col·loca la targeta a la cartolina com es mostra en la primera imatge i després es posa dins la màquina. La imatge que detecta el detector és la segona.



Mostra: targeta micro SD



Detecció de la targeta micro SD

En aquesta segona imatge es pot veure l'estructura interna de la targeta clarament. Això implica que està feta de diferents materials que tenen diferent absorció de raigs X.

CABLE DE COURE RECOBERT DE PLÀSTIC

En la primera imatge es pot veure com s'ha col·locat la mostra a la cartolina i en la segona es pot observar la detecció del cable.



Mostra: Cable de coure recobert de plàstic



Detecció del cable de coure recobert de plàstic

En aquesta detecció es pot observar que hi ha una major absorció dels raigs X per part del metall, en aquest cas el coure, que del plàstic. Es poden veure les dues parts ben diferenciades.

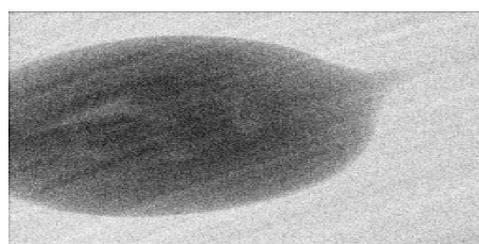
PITÒSPOR

- Normal

En la primera imatge veiem la mostra col·locada a la cartolina i en la segona s'observa la seva detecció.



Mostra: Pitòspor

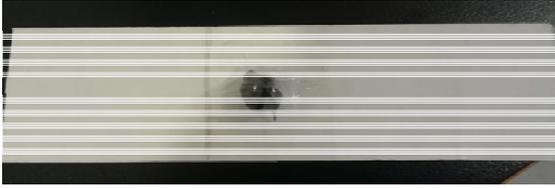


Detecció de pitòspor a temperatura ambient

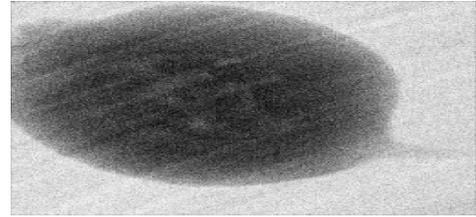
Aquest fruit té una estructura interna que no s'acaba d'apreciar en la detecció. És bastant probable que sigui perquè al ser un fruit està majoritàriament format d'aigua i, per tant, tant és la forma que tingui per dins perquè està tot format del mateix i els raigs X passen de la mateixa manera. Tot i això s'aprecia un petit dibuix al centre indicant que per dins no és massís.

- **Congelat**

En la primera imatge es veu el fruit congelat col·locat a la cartolina i a la segona es veu la detecció d'aquest pel detector.



Mostra: Pitòspor congelat



Detecció de pitòspor congelat

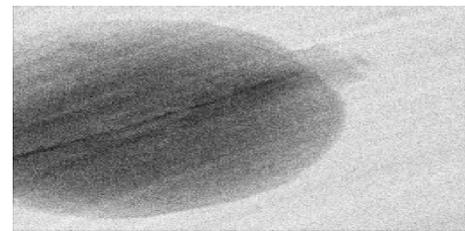
En aquest cas, tot i que a primera vista sembla que estigui igual que el normal, es pot observar que té un color més fosc, indicant que els raigs X no han pogut passar amb tanta facilitat. Això probablement es deu a que a l'estar congelat, l'estructura interna d'aigua està congelada i per tant en estat sòlid, i proporciona més dificultat de traspàs.

- **Sec**

Com en els casos anteriors, es torna a veure la mostra a la cartolina abans de ficar-la a la màquina en la primera imatge i la detecció a la segona.



Mostra: Pitòspor sec



Detecció de pitòspor sec

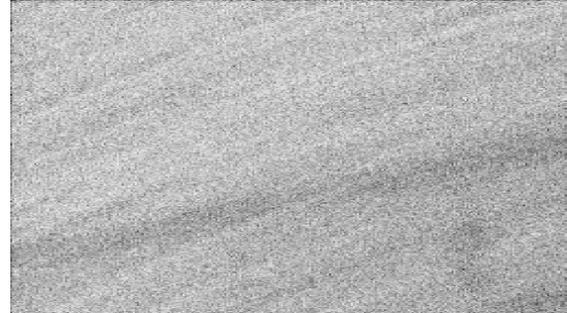
En aquest cas passa el contrari que en el cas congelat. A l'estar sec no té tanta aigua al seu interior i la detecció es veu més clara. A més com que està esquerdat es pot apreciar aquesta esquerda.

FRUIT

En la primera imatge es veu el fruit preparat per introduir-lo a la màquina i en la segona es pot veure la seva detecció.



Mostra: Fruit



Detecció d'un fruit

Amb aquest fruit torna a passar el mateix que en el cas anterior. No s'aprecia gairebé res ja que esta tot format de pràcticament el mateix. A més és molt fi i ni tan sols es pot intuir una estructura interna. Així però si que es pot veure que hi ha vetes.

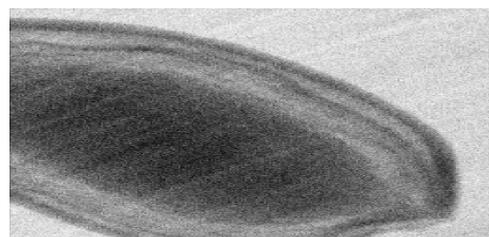
FRUIT DE PALMERA

- Madur

Com en tots els casos anteriors, a l'esquerra es veu la mostra ja preparada i a la dreta es veu la seva detecció.



Mostra: Fruit de palmera madur



Detecció d'un fruit de palmera madur

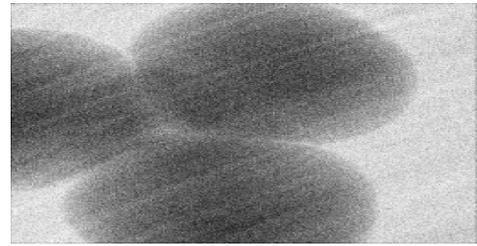
A diferència dels casos anteriors, aquest fruit té ós. En la detecció es veu clarament la diferència de l'ós i del que seria la carn. El que seria la carn està més clar perquè, en contrast amb l'ós, no és massís, és una estructura més aquosa i no tan sòlida.

- Poc madur

En la primera imatge es pot veure la mostra col·locada per detectar-la i a la segona la imatge de la posterior detecció.



Mostra: Fruit de palmera poc madur



Detecció d'un fruit de palmera poc madur

A diferència del cas madur, aquí l'ós encara no està format. Per aquest motiu tot es veu igual, no hi ha distinció interior entre un cos més massís que un altre, tot està format del mateix i tot té, per tant, la mateixa absorbència.

CARAGOL DE MAR

En la primera imatge es pot veure la mostra preparada i en la segona la seva detecció.



Mostra: Closca de caragol de mar



Detecció d'una closca de caragol de mar

Aquí es pot observar les cavitats interiors i la forma exterior. Això es deu a que hi ha espais en buit distribuïts de diferent manera al llarg de la closca. Per això l'absorbència en els diferents punts canvia i es pot apreciar una estructura interna amb aquests forats que es veuen d'aire.

RELOTGE

En la mostra del rellotge no s'aprecia res. Probablement sigui perquè està cobert d'un metall i això fa que no hi hagi una visualització interior.



Mostra: Rellotge



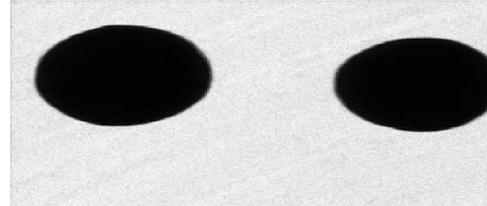
Detecció d'un rellotge

BALES DE PLOM

Teòricament el plom no deixa passar els raigs X. En aquesta pràctica s'ha comprovat i s'ha col·locat unes bales de plom com a mostra, com es veu en la imatge de l'esquerra, i s'ha observat en la detecció que és verídica, com es mostra en la imatge de la dreta. Els raigs X no han pogut travessar el plom.



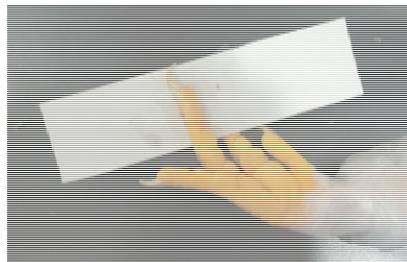
Mostra: Bales de plom



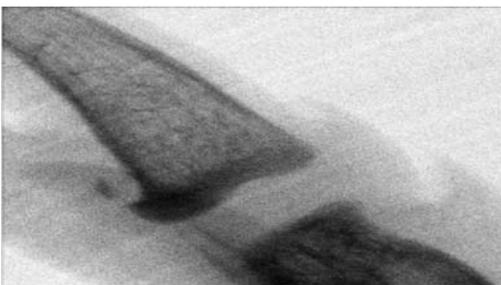
Detecció de bales de plom

POTA DE POLLASTRE

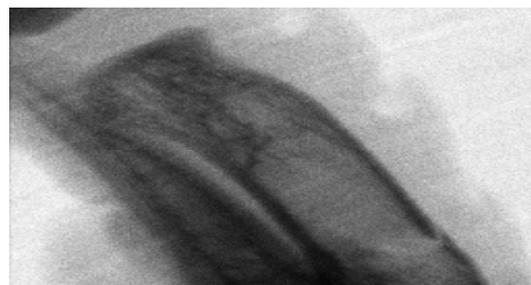
En la mostra de la pota de pollastre no s'aprecia que a aquesta se li ha fet una fractura. En les dues imatges de detecció de després, però, sí que es pot veure.



Mostra: Pota de pollastre



Detecció 1 d'una pota de pollastre fracturada



Detecció 2 d'una pota de pollastre fracturada

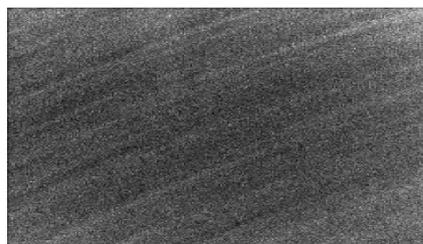
En aquestes dues deteccions es pot diferenciar el cartílag de l'ungla i de l'ós perfectament ja que estan formats de diferent manera. En totes dues podem veure la fractura de l'ós feta prèviament, i com el cartílag, la pell, ho envolta. Degut a que l'ós és més macís i té més absorbència, es veu més fosc, semblant a la ungla, mentre que el cartílag es veu més clar: els raigs X poden passar amb més facilitat.

TOMÀQUET CHERRY

En la mostra del tomàquet cherry ha estat necessari fer una petita cadira per tal que s'aguantés a l'alçada del detector i la font de raigs X, així però, a l'estar format pràcticament tot d'aigua, no s'aprecia res a la detecció.



Mostra: Tomàquet Cherry



Detecció d'un tomàquet cherry

MONEDA DE 20 CNT

La moneda de 20 cèntims que es pot veure a l'esquerra està feta de metall i per tant als raigs X els hi costa més travessar-la com es pot apreciar en la segona imatge. A més tenint en compte que la segona imatge està captada per píxels es pot mesurar aquesta entrada tan petita de la moneda utilitzant les mesures dels píxels i càlcul geomètric.



Mostra: Moneda de 20cnt



Detecció d'una moneda de 20cnt

MONEDA DE 50 CNT

Com en el cas anterior, la mostra de la moneda de 50 cèntims que es pot veure a l'esquerra, es veu clarament a la detecció i es pot mesurar les cavitats que té a la superfície mitjançant els píxels de la moneda.



Mostra: Moneda de 50cnt



Detecció d'una moneda de 50cnt

CONCLUSIONS

En aquesta pràctica s'ha pogut comprovar que les mostres formades per elements més macissos i metàl·lics tenen una major absorbtència de raigs X que en teixits o elements formats per aigua. Així doncs es pots concloure que hi ha una dependència d'absorbència que depèn, efectivament, del material de la mostra radiada i, per tant, de la seva estructura interna, tal i com diu la teoria.

Les mostres de teixit es veuen ja que els raigs X cedeixen energia i, per tant, no passen completament. Així doncs, s'afirma que els raigs X, que són més energètics que els ultraviolats, al passar per teixits cedeixen energia a aquests, fent entendre que ser travessat de manera excessiva pels raigs X pot provocar mals interns a les cèl·lules d'un cos viu.

ANNEX 4: TEORIA NUCLEAR

La teoria nuclear és el conjunt d'estudis i teories que intenta explicar la base de la matèria, la seva estructura. És un apartat que m'ha semblat interessant esmentar i útil pel que fa a algunes propietats de les partícules.

Gràcies a l'estudi de la matèria sabem que a partir d'una petita quantitat de massa es pot obtenir una quantitat enorme d'energia, tal i com indica la fórmula que va escriure Einstein: $E = m \cdot c^2$, on E és energia, m és massa i c és la velocitat de la llum. Per obtenir aquesta energia s'han descobert principalment dos mètodes: la fissió nuclear i la fusió nuclear. En aquests dos processos es treballa amb el nucli dels àtoms, les minúscules partícules que formen la matèria.

ENERGIA NUCLEAR

L'energia nuclear s'obté a partir de reaccions nuclears, és a dir, a partir de canvis que es produeixen en els nuclis dels àtoms. Un àtom està format per protons, neutrons i electrons que estan formats per altres partícules fonamentals com els leptons i els quarks.

Així doncs, un àtom està caracteritzat pel seu nombre atòmic (nombre de protons), que determina quin element és, i pel seu nombre màssic, que és el nombre de protons i de neutrons de l'àtom. Quan dos àtoms tenen el mateix nombre atòmic però diferent nombre atòmic es parla d'isòtops d'un element concret. Els isòtops s'anomenen segons el seu nombre màssic, s'anomena l'element i després el seu nombre màssic.

RADIOACTIVITAT

La radioactivitat es dona quan un àtom té un nucli inestable, concretament quan té tendència a canviar el seu nombre atòmic. La radioactivitat es pot donar naturalment o artificialment, segons si es dona de manera espontània o artificial mitjançant el bombardeig de nuclis de partícules.

Quan un àtom té un nucli inestable emet radiació ionitzant, mitjançant radiació electromagnètica (raigs gamma: γ) o radiació de partícules (partícules alfa: α (2 protons + 2 neutrons) i beta: β (1 electró)). Un mateix element només emet al mateix temps radiacions α i γ o β i γ . Això és així perquè quan s'emet radiació α el que està passant és que del nucli està sortint un àtom d'heli, és a dir, dos protons i dos neutrons. Com aquest nucli queda excitat, emet radiació γ . Quan s'emet radiació β s'està emetent un electró,

de manera que el nucli queda excitat i emet radiació γ . Per això hi ha només aquestes dues combinacions d'emissió.

Les propietats d'aquestes emissions són les següents:

Tipus	Naturalesa	Càrrega	Es frena amb	Velocitat	Ionització	Producció
Alfa (α)	Nuclis d'heli (2 p^+ i 2 n^0)	Positiva	Paper	$10^7 m/s$ (5% de la velocitat de la llum)	Causa molta	Emesa per àtoms radioactius
Beta (β)	Positró d'electró	Negativa	Làmina d'Al	Propera a la de la llum (90%)	Causa dèbil	Quan neutrons dins els nucleons de l'àtom es tornen en protons (mostra que els p^+ i n^0 no són partícules fonamentals)
Gamma (γ)	Fotons (λ curta), menor de $10^{-12} m$	No té càrrega	Plom gruixut, formigó o terra	$\sim 3 \cdot 10^8 m/s$ (90% la c)	Causa dèbil	Emesa per àtoms radioactius, sovint juntament amb partícules α i β

Per a l'obtenció d'energia s'utilitza isòtops radioactius. Els isòtops radioactius poden ser naturals, si hi ha un fenomen de transformació o transmutació nuclear espontània, o artificials, si es creen mitjançant el bombardeig de nuclis d'àtoms amb partícules α , β , γ i neutrons.

REACCIONS NUCLEARS

Una reacció nuclear és qualsevol transformació que es doni dins el nucli dels àtoms, per tant en una reacció nuclear hi haurà radiació.

Per a obtenir energia s'utilitzen reaccions nuclears. En tota reacció nuclear hi ha una diferència d'energia d'enllaç dels àtoms abans i després del procés. Aquesta diferència d'energia és l'energia alliberada en la reacció que s'aprofitarà més tard (o no) i que està relacionada amb la massa perduda. El nucli de l'àtom abans de la reacció té més massa que després. Aquesta massa perduda es converteix en energia segons la fórmula d'Einstein: $E = m \cdot c^2$; concretament en energia tèrmica.

Hi ha dos tipus de reaccions nuclears principalment:

Reaccions de fusió

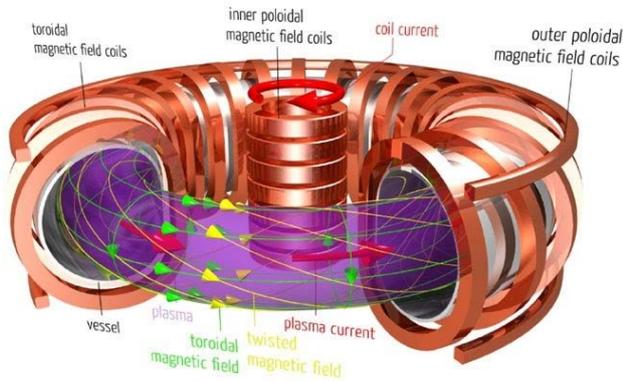
En les reaccions de fusió s'obté energia mitjançant la unió de dos nuclis d'àtom per formar un nucli més pesant. La diferència de massa abans i després de la fusió és major que en la fissió, alliberant molta més energia. Això s'aconsegueix escalfant les partícules a uns 10^8 °C per tal d'aconseguir que els nuclis lleugers pugin vèncer les forces de repulsió electrostàtiques que hi ha entre ells (ja que tots dos estan carregats positivament), fent-los xocar violentament a gran velocitat, donada la temperatura, i permetent la fusió. Aquesta temperatura permet separar els nuclis dels àtoms dels electrons, i es forma un mar d'electrons. En aquesta situació ja no es parla de sòlid, líquid o gas, sinó de plasma. El plasma és un estat de la matèria compost per electrons, cations i neutrons que es mouen lliurement. Aquest tipus de reacció es dona constantment en les estrelles com per exemple el Sol. A la Terra l'única manera de contenir aquesta quantitat d'energia és mitjançant un camp magnètic ja que a aquesta temperatura no hi ha cap material de contenció que no es desfaci.

No totes les reaccions de fusió permeten obtenir la mateixa quantitat d'energia. De fet alliberarà energia si els nuclis dels àtoms són de massa menor a la del ferro, però si tenen més massa llavors no alliberarà, sinó que absorbirà energia. El combustible que més s'utilitza (ja que és el que es dona a les estrelles i sobre el que s'està investigant) en la reacció de fusió són l'hidrogen i isòtops de l'hidrogen: el deuteri (${}^2_1\text{H}$), que és estable, i el triti (${}^3_1\text{H}$), que és inestable, per tant radioactiu. Aquests isòtops són els que permeten produir una major quantitat d'energia. En unir dos isòtops de l'hidrogen es forma un àtom d'heli, un neutró i energia. És la reacció de fusió més senzilla. A més és pràcticament inesgotable ja que el deuteri es troba a l'aigua de mar i el triti es pot produir fàcilment a partir del neutró que es produeix a la reacció i isòtops de Liti, abundant a l'escorça terrestre i en l'aigua de mar. Així el deuteri que hi ha en un sol litre d'aigua de mar pot proporcionar una energia equivalent a la de 250 litres de petroli.

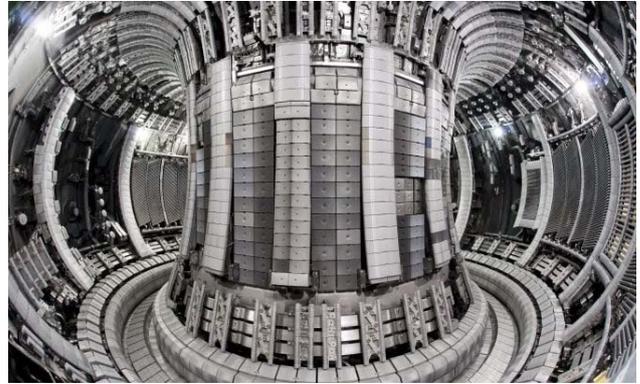
Tot i que és una reacció que permet obtenir energia barata (ja que hi ha molta aigua de mar a la Terra), il·limitada, segura i mediambientalment acceptable, no s'ha aconseguit encara un mètode per tal de guanyar energia en el procés, ja que es gasta més energia per iniciar la reacció que la que la reacció et proporciona.

Reactor:

- ITER



Parts del reactor de fusió



Reactor de fusió real

És un reactor que es basa en el plasma i les ones electromagnètiques. Les ones electromagnètiques mantenen el plasma calent “flotant” ja que no hi ha cap material capaç de suportar la calor que emet el plasma. En aquestes condicions d’energia és possible fusionar el deuteri i el triti (que són àtoms poc pesants) per formar heli i una quantitat molt elevada d’energia. Això passa perquè a la temperatura de 150 milions de graus centígrads es separen els nuclis dels àtoms dels electrons. Això fa que es formi un mar d’electrons i es crea el plasma, un estat semblant al gas, compost per electrons, cations i neutrons que es mouen lliurement. És molt bon conductor i està a una temperatura molt elevada.

Per evitar accidents i mantenir la temperatura del plasma, s’utilitzen camps magnètics que mantenen el plasma “flotant”, com he dit abans, i fa que les seves partícules segueixin les línies magnètiques. El camp magnètic està format per:

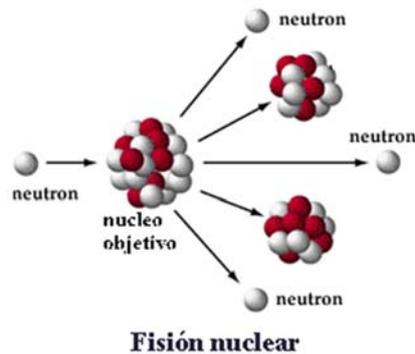
- Camp magnètic toroidal: generat per bobines equidistants al voltant del toroide (el que seria l’anell)
- Camp magnètic poloïdal: produït per una corrent elèctrica en l’interior del plasma, induïda per la peça central

Aquestes dues guien les partícules del plasma

- Camp magnètic helicoïdal: format pels camps toroïdals i el poloïdal (té una forma de molla enrotllada sobre si mateixa)
- Electroimants: indueixen corrent en el plasma

Reaccions de fissió

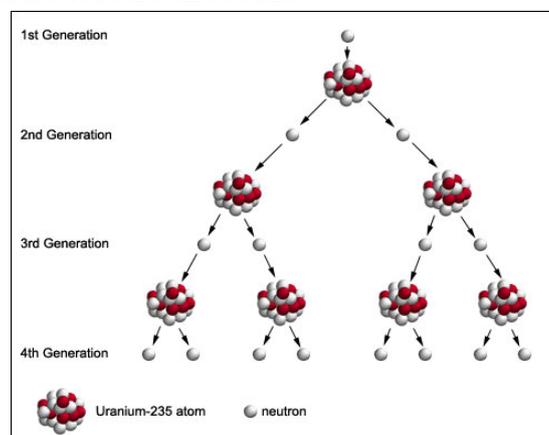
Quan es provoca una ruptura del nucli d'un àtom mitjançant l'impacte d'un neutró per tal d'alliberar energia, es tracta d'una reacció nuclear de fissió. La reacció de fissió es basa en la reacció en cadena, és a dir, la reacció que es dona després del primer impacte. Cada cop que el nucli es divideix, s'emeten dos o tres neutrons que impacten amb les divisions i trenquen aquestes, emetent més neutrons i fent més reaccions que emetran més energia.



Impacte d'un neutró amb el nucli

La suma de les masses d'aquests fragments és menor que l'original. La diferència de massa es converteix en energia radiant o calorífica segons l'equació d'Einstein $E = m \cdot c^2$, on es pot observar que per molt petita que sigui la massa perduda, l'energia emesa és immensa donada la dada de la velocitat de la llum al quadrat.

Aquesta reacció continuarà succeint per si mateixa, però per tal que això succeeixi és necessari que hi hagi suficients àtoms inicials. A això se li anomena massa crítica que és la massa necessària per tal que hi hagi una reacció en cadena, és el punt en el qual els neutrons s'emeten a una velocitat suficient per tal de continuar formant la fissió. Si els neutrons es perden una velocitat major a la que es produeix la fissió, llavors no hi ha la massa crítica i no hi haurà reacció en cadena.



Reacció en cadena

Els nuclis que s'utilitzen en aquestes reaccions són sempre isòtops radioactius, l'isòtop més utilitzat és l'urani 235 i el plutoni 239.

La fissió pot ser provocada amb el bombardeig d'un neutró o pot ocórrer espontàniament. El plutoni 239, per exemple, té una alta probabilitat de fissió espontània, sense cap intervenció externa, comparada amb la probabilitat de l'urani 235.

L'energia emesa pot ser alliberada de cop, a l'instant, provocant una bomba nuclear, o d'una forma més lenta i controlada, dins un reactor nuclear, deixant que només un de cada dos o tres neutrons impacti amb el nucli de l'àtom, per tal d'obtenir energia aprofitable.

Les centrals es poden dividir:

- **Segons el moderador**

Els reactors tèrmics necessiten que els neutrons emesos en la fissió siguin frenats per alguna substància anomenada moderador per tal que hi hagi un bon funcionament. Les centrals, doncs, es divideixen en dos grans grups segons si el reactor té o no té moderador:

- Els reactors tèrmics (tenen moderador)
- Els ràpids (no tenen moderador ja que treballen directament amb els neutrons sense prèvia moderació): refrigeren amb un sòlid líquid

- **Segons el reactor**

- Reactor d'aigua a pressió (PWR i VVER): Utilitzen aigua lleugera a pressió per fer de moderador i refrigerant, i òxid d'urani enriquit com a combustible. La pressió permet que l'aigua no entri en ebullició (tenen tres circuits)
- Reactor d'aigua en ebullició (BWR): Utilitzen aigua com a refrigerant i moderador, però no a tanta pressió com en el cas anterior. Aquesta aigua s'evapora parcialment al passar pel reactor. Aquest vapor, reduït en humitat, passa per la turbina, sense necessitat d'un generador. Tenen 2 circuits
- Reactor d'aigua pesada (HWR): Utilitza aigua pesada (òxid de deuteri) en ebullició com a moderador i urani natural o lleugerament enriquit com a combustible

- Reactor d'aigua pesant pressuritzada (PHWR): Utilitza aigua pesant (òxid de deuteri) a alta pressió com a moderador i refrigerant

Les centrals es classifiquen segons el moderador, el combustible i el refrigerador del reactor, però aquests són els més importants.

ANNEX 5: ISOTROPIA DE L'ESPAI

Einstein va utilitzar la teoria pròpia de la relativitat general, la teoria de l'espai, el temps i la gravitació per a descriure l'univers. A partir d'aquí va néixer el que es coneix com a cosmologia moderna.

Per a descriure l'univers a més d'utilitzar les teories esmentades, es va basar en tres premisses:

- La distribució de la matèria en l'espai és suau
- La matèria està distribuïda isotròpicament ja que no existeix una direcció preferent
- L'univers és homogeni ja que no existeixen llocs preferents en l'espai

Aquestes tres premisses eren més filosòfiques ja que no s'havia pogut observar.

La isotropia de l'univers fou confirmada (1965) per Arno Penzias i Robert Wilson amb el descobriment de la radiació de fons de microones. Queda constatat que aquesta radiació està des que l'univers tenia uns 300.000 anys, quan havia deixat d'estar prou calent com per a què radiació i energia fossin dos conceptes diferents. Així la matèria va formar galàxies mentre la radiació s'ha conservat des de llavors. Experimentalment es mostra que aquesta radiació és la mateixa en qualsevol direcció d'observació, amb petites desviacions de 1 entre 100.000.

Així doncs, si no hi ha un punt d'observació preferent a un altre segons N. Copèrnic, la isotropia de l'espai observada provoca la homogeneïtat de l'univers. L'experiment que ho demostraria, però, seria comptar el nombre de galàxies que hi ha a diferents distàncies i observar si augmenten amb el volum que ocupen. La raó que sigui necessari observar fins distàncies grans és que:

- La distribució de matèria propera no és homogènia
- La suavitat de matèria necessària segons el principi cosmològic només és certa si es considera la mitjana

Hi ha hagut moltes observacions en els últims anys però no hi ha un resultat clar. Tot i que hi ha altres pensaments respecte aquest tema, no hi ha hagut cap fet que demostrï que no és cert i de moment s'estudia tenint en compte aquestes mesures.

OBJECTIU

- Mesurar amb el detector les partícules que es reben quan està posicionat horitzontalment i les que es reben quan està posicionat verticalment
- Comprovar d'una manera provisional i prèvia a la pràctica final si l'espai és isotròpic

MATERIAL UTILITZAT

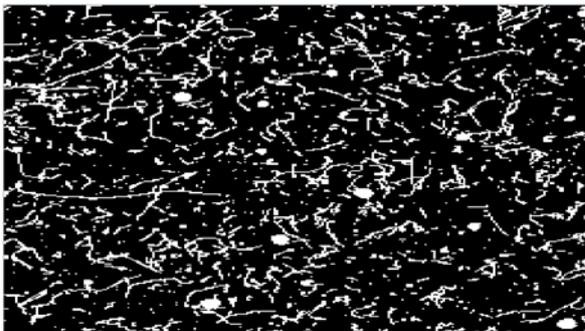
- Detector de partícules
- Ordinador
- Programa PIXet pro
- Cinta adhesiva

PROCEDIMENT:

Connectar el detector a l'ordinador i obrir el programa PIXet pro. Col·locar el detector horitzontalment. Obrir la tapa del detector per tal que capti les partícules i deixar-lo captant radiació de fons durant una hora, fent que vagi fent captures cada minut. Un cop ja ha passat una hora es guarda el que ha estat captant a una carpeta de l'ordinador i es col·loca el detector verticalment per repetir el procediment. En cas que el detector no s'aguanti verticalment, es pot col·locar contra una paret o qualsevol espai vertical recte (amb la placa de silici mirant cap a fora) i aguantar-lo amb una mica de cinta adhesiva. Un cop s'ha acabat la detecció, cal tapar el detector i ja es pot desconnectar i tancar el programa.

RESULTATS

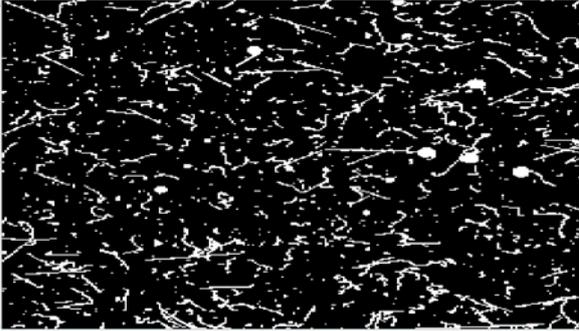
- Mesura horitzontal



Píxels marcats: 9638

Total d'energia (keV): $3,80201 \cdot 10^6$

- Mesura vertical



Píxels marcats: 7340

Total d'energia (keV): $3,83478 \cdot 10^6$

CONCLUSIONS

Si es té en compte el total d'energia rebut a un i el total d'energia rebut a l'altre es pot observar que no és exactament el mateix número però que tots dos han rebut aproximadament $3,8 \cdot 10^6$ keV. És un resultat força bo tenint en compte les condicions en les que es va fer i l'exactitud de l'aparell. Tot i que no hi ha manera de saber el marge d'error, trobo que els resultats són bons i que donen un resultat positiu de cara a la isotropia de l'espai, tal i com considerava Einstein.

Cal esmentar que hi ha un píxel que no s'ha de comptar ja que està malmès, però com que està en totes dues mesures, no ha estat descomptat.

Si s'observen les partícules rebudes en tots dos casos, es pot dir que partícules alfa, beta i gamma n'han rebut ambdues, i després es veu, entre molts, un muó molt clar en la mesura horitzontal i tot i que no hi ha tant clars a la vertical, també se'n veuen uns quants (els muons són les mesures allargades rectes que es veuen que a diferència de les beta, no són tan sinusoidals). De partícules alfa es veuen aproximadament la mateixa quantitat. De beta i gamma, com que en ocasions costa més de veure, no es pot dir, i amb els muons passa una cosa semblant. Al final, però, el fet que l'energia sigui aproximadament la mateixa, dona una idea que les partícules rebudes són semblants o, si més no, de caire energètic similar.