

TREBALL DE RECERCA

RADIACIÓ IONITZANT I BARRERES DE RADIACIÓ



Carles Vallès Muñoz

Tutor: Daniel Parcerisas

Física

Col·legi Sagrada Família de Gavà

Curs 2018-19

ÍNDEX

1. Introducció	1
2. Objectius	3
3. Detector de partícules: hardware	4
4. Estudi de substàncies radioactives	9
4.1 Aliments radioactius per naturalesa	9
4.2 Potassi	10
4.3 Tungstè	12
4.4 Radi	13
4.5 Poloni	14
4.6 Urani	15
5. Mètodes per evitar radiacions	18
6. Blindatges de radiació	19
7. Capacitat de diferents materials de fer de barrera	21
8. Efectes a la salut causats per una exposició prolongada a radiació	24
9. Radiació a l'espai	26
9.1 Estudis per evitar radiació en viatges espacials de llarga durada	30
10. Sortida a la universitat de Barcelona	32
11. Experiment del tronquet	35
12. Exposició a la Barcelona Tecno Week	37
13. Pràctica introductòria	38
14. Pràctiques d'anàlisi de radiació	39
14.1 Visualització dels camins de radiació ionitzant emesa per diferents substàncies	39
14.2 Comparativa de la radiació emesa per diferents substàncies	49
15. Experiments de barreres	50
15.1 Absorció de partícules en paper d'oficina i en paper d'alumini	50
15.2 Absorció de partícules en paper de film	54
15.3 Partícules a través de paper porós	56
15.4 Comparativa de les barreres de radiació	58
16. Conclusió	59
17. Agraïments	61
18. Bibliografia	62
19. Índex de figures	65
20. Annex I	68
21. Annex II	78
22. Annex III	92

1. Introducció

L'existència dels àtoms ha estat un gran interrogant al llarg de la història humana. L'existència de l'àtom va ser plantejada ja des de l'antiga Grècia, on es formularen diverses teories sobre el mateix, plantejant l'existència d'una sèrie de partícules que conformen tota la matèria al món. Tot i això, és a l'actualitat on s'estan fent majors avenços en la matèria.

Una de les moltes portes que va obrir el descobriment de l'àtom va ser la radiació: propagacions d'energia en forma d'ones o de partícules subatòmiques (descoberta per Pièrre Curie i Marie Curie). Aquest tema ha estat objecte d'estudi de molts científics, tant per les propietats de la mateixa com pels diversos efectes que poden produir en organismes vius. Des dels raigs X fins a radiacions ultraviolades; la radiació es troba a tot arreu, tant a la Terra com a l'espai.

Les molècules subatòmiques sempre m'han interessat. Em fascina el món que es troba davant nostre però que no podem percebre pels sentits. Quan vaig haver d'escollir quin tema tractaria en el meu treball de recerca, vaig plantejar diverses opcions, entre d'elles temes relacionats amb la biologia i la química, sobretot. No obstant això, quan se'm va oferir fer un treball de recerca amb un dispositiu detector de partícules radioactives cedit pel C.E.R.N., no vaig dubtar ni un moment en acceptar, ja que una oportunitat així no es presenta tots el dies. Poder estudiar la radiació amb un dispositiu experimental com era el cedit presentava poder estudiar amb gran deteniment un tema de gran envergadura com és la radioactivitat.

Aquest dispositiu no l'he utilitzat només jo, sinó que tres altres alumnes de l'escola Sagrada Família de Gavà en van disposar, especialitzant-nos cadascú en temes diferents.

El treball gira, bàsicament, al voltant del detector; utilitzant-lo com a eina per al estudi de la radiació. Així, es tracten dos temes diferenciats: la quantitat de radiació emesa per diverses substàncies i barreres de radiació (i com afecten en la radioactivitat).

Per al estudi, vaig fer, com a pas previ, un estudi de la radiació i de diverses fonts de radiació i, a part, un estudi de barreres de radiació i el seu ús actual. Amb el fonament teòric, posteriorment, faria les pràctiques amb el dispositiu ja mencionat per tal de treure diverses conclusions d'aquestes.

Així, els objectius principals d'aquest treball de recerca són:

- Visualitzar diferents tipus de radiació
 - Fer un estudi de la radiació que emeten diferents substàncies i veure quin tipus de radiació emeten cadascuna i quines n'emeten més.
- Comprovar el funcionament de les barreres de radiació
 - Estudiar algunes barreres de radiació utilitzades actualment i el funcionament d'aquestes.
 - Comprovar l'eficàcia d'alguns materials d'ús comú per a evitar la radiació
 - Veure els efectes de la salut provocats per exposició a la radiació.

Tanmateix ha estat necessari entendre el funcionament del dispositiu per tal de comprendre millor com realitzar les pràctiques amb el mateix. Jo m'he especialitzat en la part del hardware del dispositiu, mentre que els demés que també han utilitzat el dispositiu s'han centrat en altres aspectes com la programació o el software del mateix.

2. Objectius

Amb aquest treball pretenc assolir diversos objectius a través de la investigació i la realització de pràctiques sobre radiació.

Aquest treball està separat en dos temes diferents: la radiació que emeten diverses substàncies i barreres per a aquesta radiació. Així, els objectius del meu treball de recerca són els següents:

- Fer un estudi del hardware del detector de partícules que serà utilitzat per tal d'entendre el seu funcionament
- Realitzar una pràctica amb raigs X a la universitat de Barcelona
- Estudiar els diferents tipus de radiació que poden emetre diferents substàncies
- Comparar diferents substàncies segons la radiació que emeten i la quantitat de la mateixa.
- Estudiar les barreres de radiació que s'utilitzen a l'actualitat
- Veure quins efectes sobre la salut pot comportar l'exposició prolongada a la radiació
- Veure les radiacions emeses a l'espai i com evitar-les
- Fer una comparativa de diverses barreres per veure els seus efectes sobre les partícules i la seva efectivitat

3. Detector de partícules: Hardware

Introducció

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

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

Parts

El dispositiu consta diverses parts:

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



Fig. 1 Parts que conformen el detector Medipix

Funcionament

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

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

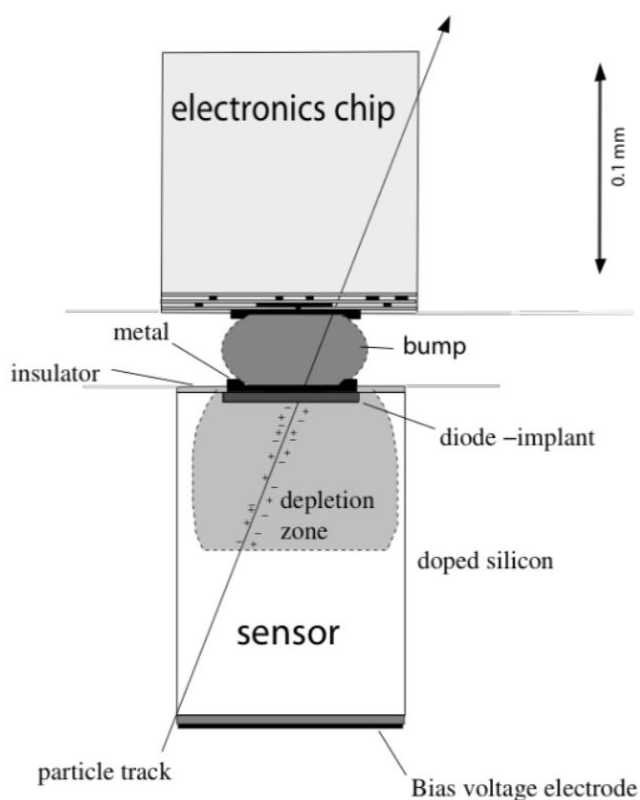


Fig.2 Esquema de les capes que conformen el xip de lectura, així com les seves parts

Principi de detecció

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

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

Electrònica

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

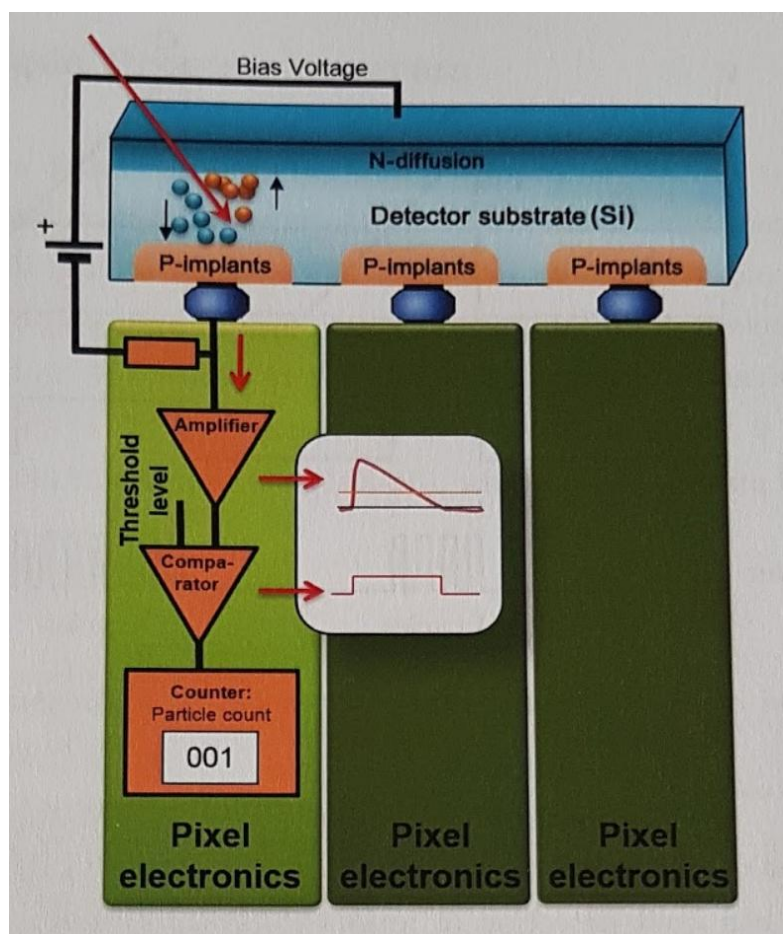


Fig. 3 Hardware que conforma el detector de partícules

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

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

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

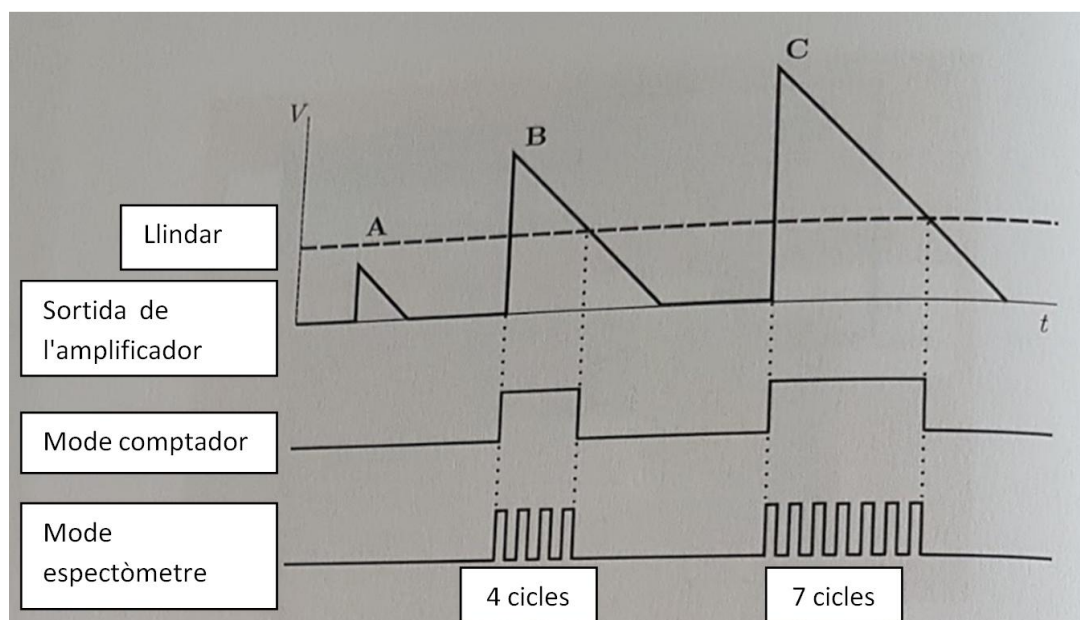


Fig. 4 Funcionament del llindar del detector

4. Estudi de substàncies radioactives

Per tal de comprendre millor les substàncies les radiacions de les quals seran estudiades, cal fer un anàlisi de cada una d'elles.

4.1 Aliments radioactius per naturalesa

Tot i que no ho sembli, hi ha molts aliments que són radioactius per naturalesa. Els plàtans en particular, ho són degut a que contenen potassi. El potassi conté un 0,0117 per cent de potassi-40 (isòtop K-40), que és



Fig. 5 Mostra simbòlica de la radiació que tenen els plàtans

radioactiu. Les fuites de radiació de les plantes nuclears solen mesurar-se en unitats extraordinàriament petites. Comparant l'exposició per aquestes causes a la dosi equivalent de radiació que conté un plàtan, es pot obtenir una avaluació més realista dels riscos reals de la fuita.

En un plàtan comú d'uns 150 g hi ha uns 600 mg de potassi (396 mg per cada 100 g), que conté uns 0,070 mg de potassi radioactiu. El perfil radiològic mitjà del plàtan comú és per tant de 120,37 becquerels per kilogram. La dosi equivalent a 365 plàtans (un dia durant un any) és de 0,036 mSv (mil·lisieverts) en un any. Comparativament la radiació natural a la Terra és de 2,4 mSv any, pel que simplement viure al planeta Terra durant un any representa una absorció de radiació 60 vegades superior a menjar-se un plàtan al dia durant un any.

Els plàtans són els únics "materials radioactius legítims" que, juntament amb altres mercaderies com la ceràmica o la sorra per a gats, són prou radiants com per saltar les alarmes en els sensors de radiació usats en ports i duanes als Estats Units, que es fan servir per detectar el possible contraban il·legal de material nuclear.

Les patates, les mongetes, les nous, les llavors de gira-sol i l'alvocat són altres aliments que són moderadament radioactius per naturalesa. Tanmateix tota l'aigua de la Terra conté petites quantitats de tori i urani radioactius dissolts. L'aliment més radioactiu per naturalesa que es coneix són les nous del Brasil, els nivells d'activitat en aquestes nous arriba als 244 becquerels per quilogram. No obstant, de tota la radiació a la que estem exposats en un any, aproximadament un 4% és la quantitat que prové del menjar i beure.

Les nous de brasil, que surten del *Bertholletia excelsa*, es coneix per diferents noms com son avellana de brasil, castanya de brasil, nou amazònica o castanya de muntanya. La raó per la qual són tan radioactives és degut a la seva alta concentració en radi i bari (dos elements radioactius) que es troben en el terra i que acaben a la nou.



Fig. 6 Nous de Brazil

4.2 Potassi

El potassi és un element químic de nombre atòmic 19 que es troba en el grup X de la taula periòdica dels elements. El seu símbol, és K. S'oxida ràpidament en l'aire, és molt reactiu, especialment en aigua, i s'assembla químicament al sodi. És un element químic essencial.

Propietats físiques

El potassi és un metall blanc platejat tou amb un punt de fusió de 63 ° C (145 ° F) i un punt d'ebullició de 770 ° C (1420 ° F). El potassi és descrit com un metall molt lleuger i molt mal-leable. Aquesta propietat permet que es pugui tallar fàcilment, fins i tot amb un ganivet de cuina. La seva densitat és de 0,862 grams per centímetre cúbic, menor que la de



Fig. 7 Potassi a la natura

l'aigua (1,00 grams per centímetre cúbic). Per tant, el metall de potassi pot surar en l'aigua. El punt de fusió del potassi és tant baix que, fins i tot, pot desfer-se amb la flama d'una espelma.

Propietats químiques

De la mateixa manera que els altres metalls alcalins, el potassi és químicament molt actiu. Presenta una alta tendència a oxidar-se quan s'exposa a l'aire. Reacciona violentament amb l'aigua i allibera hidrogen gasós. La quantitat de calor produïda en aquesta reacció és alta; tant que fins i tot pot arribar a incendiar-se o explotar. És per això que cal emmagatzemar-se en algun lloc segur i sec, allunyat de fonts d'aigua. El potassi reacciona fàcilment amb tots els àcids i amb tots els no metalls, com són el sofre, clor, fluor, fòsfor i

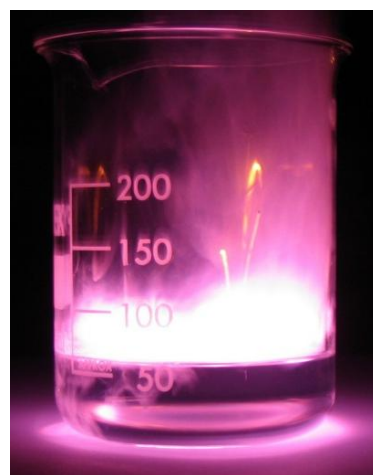
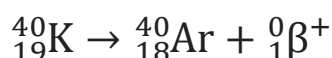


Fig. 8 Flama provocada per la reacció de potassi amb aigua

nitrogen. El potassi, tanmateix, té un paper important en els éssers vius, sent l'encarregat de regular funcions dels nervis o donant cohesió a l'ADN, entre d'altres.

Isòtops

Es coneixen disset isòtops de potassi, tres d'ells naturals ^{39}K (93,3% va), ^{40}K (0,01%) i ^{41}K (6,7%). L'isòtop ^{40}K , que és radioactiu (i que serà estudiat) té un període de semidesintegració de $1,278 \times 10^9$ anys. La desintegració del ^{40}K en ^{40}Ar s'empra com a mètode per a la datació de roques. El mesurament de la quantitat de potassi i ^{40}Ar i aplicació d'aquest procediment de datació és adequat per a determinar l'edat de minerals com el feldspat volcànic, moscovita, biotita i hornblenda i en general les mostres de roques volcàniques i intrusives que no han patit alteració.



4.3. Tungstè

El wolfram o tungstè, també conegut com wolfram o tungstè, és un element químic de nombre atòmic 74 que es troba en el grup 6 de la taula periòdica dels elements. El seu símbol es W.

Propietats físiques

A la naturalesa, el wolfram és un metall gris acer que és sovint fràgil i difícil de treballar; però si és pur, es pot treballar amb facilitat. Es treballa per forjat, trefilatge, extrusió i sinterització. De tots els metalls en forma pura, el wolfram té el més alt punt de fusió (3.410°C , 6.170°F), menor pressió de vapor (a temperatures superiors a 1.650°C , 3.002°F) i la major resistència a tracció. El wolfram és el metall més abundant dels metalls de transició del grup 5 de la taula periòdica. En cas de escassejar, el molibdè sol substituir-lo



Fig. 9 Tungstè a la natura

Propietats químiques

El wolfram resisteix les reaccions redox, gairebé tots els àcids comuns (incloent el fluorhídric) i àlcalis, però només en el seu estat de màxima puresa, tot i que s'oxida ràpidament exposat a peròxid d'hidrogen (comunament conegut com a aigua oxigenada). El wolfram a temperatura ambient sosté l'atac de gairebé tots els àcids importants en qualsevol concentració encara que pot corroir amb facilitat en àcid nítric i aigua oxigenada. Els carburs de wolfram (W_2C i WC) es produeixen per l'escalfament en pols de carbó i són alguns dels carburs més durs, amb un punt de fusió de 2.770°C per al WC i 2.780°C pel W_2C . El WC és un conductor elèctric eficient, però el W_2C no. El carbur es comporta de manera similar al mateix element sense aliar, i és resistent a l'atac químic.

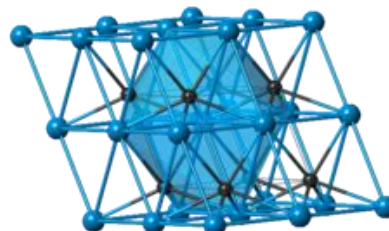
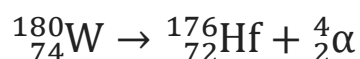


Fig. 10 Forma tridimensional adquirida pel carbur de wolfram

Isòtops

El tungstè consta de quatre isòtops estables i un inestable, el W-180. En teoria, els cinc isòtops poden descompondre en isòtops d'hafni per l'emissió de radiacions alfa, però només el 180W s'ha observat amb una vida mitjana de $(1,8 \pm 0,2) \times 10^{18}$ anys, 37 de mitjana, és el rendiment al voltant de dos desintegracions alfa de 180W en un gram de wolfram natural en un any. Així doncs, la reacció de desintegració del tungstè és la següent:



4.4 Radi

El radi és un element químic de nombre atòmic 88 i que es troba al grup 2 de la taula periòdica dels elements. El seu símbol és Ra. El radi és un element radioactiu rar, trobat en minerals d'urani en proporció d'una part per aproximadament 3 milions de parts d'urani.

Propietats físiques

El radi és un metall de color blanc immaculat, sòlid i no magnètic. Tot i això, a la naturalesa es troba de color negre degut a l'exposició amb l'aire. Els preparats de radi son destacables perquè son capaces de mantenir-se a més alta temperatura que el seu entorn i per les seves radiacions, que poden ser de tipus alfa, beta o gamma. La seva densitat és de 5500 kg/m^3 , el seu punt de fusió de 700°C i el d'ebullició de 1737°C .



Fig. 11 Radi a la natura

Propietats químiques

El radi és el més pesat dels metalls alcalinoterris i té unes propietats semblants a les del bari. El metall és prou actiu químicament per reaccionar amb una part dels no-metalls. Adquireix radioluminescència en barrejar-se amb coure i zinc, adquirint una tonalitat verda i brillant.

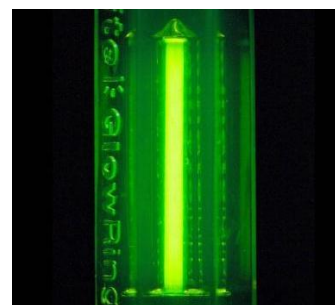


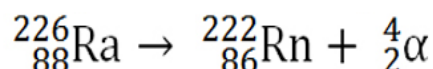
Fig. 12 Barreja de coure i radi

El radi al medi ambient

El radi està present de forma natural en el medi ambient en molt petita quantitat. Els nivells de radi en el medi ambient s'han incrementat en gran mesura com a resultat de les activitats humanes. Els humans alliberen radi en el medi ambient per la crema de carbó i altres fuels. Els nivells del mateix en aigua potable poden ser elevats quan l'aigua s'extreu de pous profunds que estan localitzats prop d'un abocador de residus radioactius.

Isòtops

El radi té 25 isòtops diferents, quatre dels quals es troben a la natura: el més comú és el radi-226. Els isòtops Ra-223, Ra-224, Ra-226 i Ra-228 són generats per desintegració de l'O i del Th. El Ra-226 és un producte de desintegració de l'O-238, a més de ser l'isòtop més llarg del radi amb un període de semidesintegració de 1602 anys. La reacció de desintegració del radi 226 és la següent:

**4.5 Poloni**

El poloni és un element químic de nombre atòmic 84 i que es troba al grup 16 de la taula periòdica dels elements. El seu símbol és Po. Es tracta d'un rar metal·loide altament radioactiu, químicament similar al tel·luri i al bismut, present en minerals d'urani.

Propietats físiques

El seu estat ordinari és sòlid (no magnètic). Té una densitat de 9196 kg/m^3 , amb un punt de fusió de 254°C i un d'ebullició de 962°C . És extremadament tòxic i altament radioactiu. Tot i que és un element de procedència natural, només està present en minerals d'urani natural. S'ha trobat poloni en minerals d'urani, fum de tabac i com a contaminant. Tots els elements a partir del poloni són significativament radioactius.



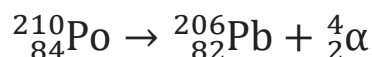
Fig. 13 Poloni a la natura

Propietats químiques

Aquesta substància es dissol amb molta facilitat en àcids, però és només lleugerament soluble en alcalins. Està químicament relacionat amb el tel·luri i el bismut. El poloni és un metall volàtil, reductible al 50% després de 45 hores a l'aire a una temperatura de 54,8 ° C (328 K). Tanmateix, és més metàl·lic que el seu homòleg inferior, el tel·luri. Com metall, és químicament semblant al tel·luri i forma els compostos vermell brillant SPoO_3 i SePoO_3 .

Poloni-210

Aquest isòtop de poloni és un emissor alfa amb un període de semidesintegració de 138,39 dies. Un mil·ligram de Po-210 emet tantes partícules alfa com 5 grams de radi. Per això allibera gran quantitat d'energia, aconseguint els dispositius productors de calor (en els Generadors Termoelèctrics de Radioisòtops o RTG en anglès) una temperatura superior als 750 K amb tan sols mig gram. Un únic gram d'aquest isòtop genera 130 watts de potència calòrica. El Po-210 s'ha utilitzat com a font lleugera de calor per donar energia a les cèl·lules termoelèctriques d'alguns satèl·lits artificials i sondes lunars. La reacció de desintegració del poloni-210 és la següent:



Tanmateix s'ha trobat traces de Po-210 en el fum del tabac. El Po-210 que contenen els fertilitzants fosfatats és absorbit per les arrels de les plantes (com la del tabac) i s'emmagatzema en els teixits de la pròpia planta. La radiació alfa que emet estima que causa al voltant de 11.700 morts anuals a tot el món per càncer de pulmó.



Fig. 14 Representació del poloni-210 que conté el tabac

4.6. Urani

L'urani és un element químic de nombre atòmic 92, que es troba al grup 3 i període 7 de la taula periòdica (actínid). El seu símbol és U. D'entre tots els elements de la taula periòdica, és l'urani el que posseeix una major massa atòmica, de 238,02 u.

Propietats físiques

L'urani és un element químic metàl·lic de color platejat o grisós. A la natura es presenta en molt baixes concentracions.

La seva densitat és d'aproximadament 19 g/cm³ i té un punt de fusió de 1132 °C. L'urani és un metall molt dens, dúctil i mal·leable, però mal conductor d'electricitat. En els minerals d'urani, aquest es troba en molt baixa quantitat, i



Fig.15 Urani a la natura

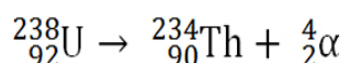
s'hi poden trobar en els mateixos minerals altres elements radioactius com són el poloni o el radi.

Propietats químiques

L'urani reacciona amb gairebé tots els elements no metàl·lics i es pot dissoldre en àcids clorhídric i nítric i també en altres àcids com el sulfúric i el fosfòric (molt lentament en el cas d'aquests dos últims).

Isòtops

L'urani natural està format per tres tipus d'isòtops: urani-238, urani-235 i urani-234. De cada gram d'urani natural l'isòtop majoritari és el 238. La reacció de desintegració de l'urani 238 és la següent:



Desintegrant-se l'urani en partícules alfa. El seu període de semidesintegració és extremadament lent, sent de $4,5 \cdot 10^9$ anys

Urani com a combustible

L'element és utilitzat actualment com a combustible per a reactors nuclears, en forma de bares recobertes de silici. Per a fer-ho, l'urani és separat en dos porcions, una que contingui l'isòtop urani 235 en major quantitat i un altre que el contingui en menor quantitat. El que en conté més és més radioactiu que no pas l'altre i s'anomena urani enriquit, mentre que l'altre porció que s'obté després d'haver utilitzat la primera com a combustible, rep el nom d'urani empobrit.

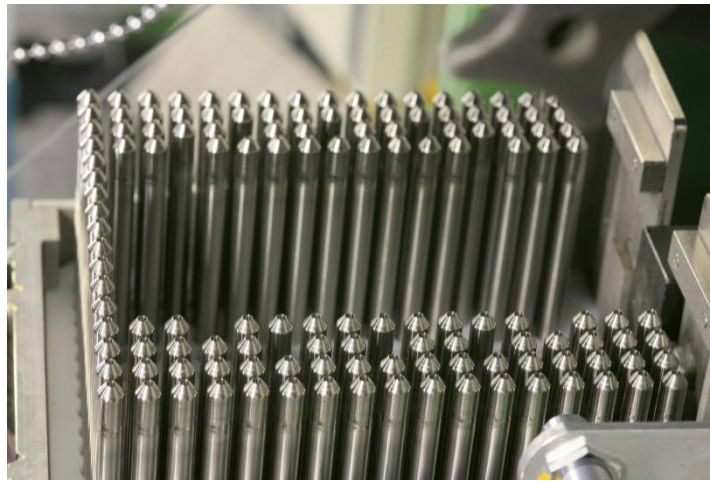


Fig. 16 Barres de combustible d'urani

5. Mètodes per evitar radiacions i barreres de radiació

Quan es manipulen substàncies que emeten radiació, s'han de prendre mesures diferents, ja que les mateixes poden ser perilloses per a la salut.

Una de les principals maneres d'evitar una possible fuga esporàdica de radiació, és esperar, quan sigui possible, el descens de l'activitat radioactiva dels elements pel seu decaïment natural.

D'altra banda, també cal ventilar, si existeixen, gasos radioactius.

Un exemple on s'utilitzen aquests mètodes son les instal·lacions nuclears, les quals no es desmantellen immediatament després de la seva detenció, per esperar una disminució de l'activitat radiològica de les zones afectades. A les mines subterrànies d'urani, una ventilació molt eficaç permet mantenir una baixa concentració de radó a l'aire que respiren els miners.

Tanmateix, els treballadors que puguin assolir nivells de dosi altes de les radiacions ionitzants en el seu treball (indústries nuclears, metges, radiòlegs ...) solen portar dosímetres que mesuren la quantitat de radiació a la qual han estat sotmesos. Aquests dispositius permeten assegurar-se que la persona ha rebut una dosi inferior a la dictada legalment, o en cas d'accident radiològic, conèixer l'abast de la dosi rebuda.

D'altra banda, en zones on hi ha risc de contaminació s'utilitzen proteccions personals. Els equips que s'utilitzen han d'estar senyalitzats i no poden sortir de la zona de risc sense abans ser descontaminats, cosa que garanteix una seguretat alta contra la radiació. També, tot i que menys freqüents, es poden utilitzar material d'un sol ús que ha de ser emmagatzemat en recipients adients i senyalitzats.

Una altra manera d'evitar radiació de manera directa és utilitzant blindatges de radiació, materials que impedeixin que la radiació la penetri.

6. Blindatges de radiació

Els blindatges son el nom pel qual es coneixen a les barreres físiques que s'utilitzen per tal d'evitar la radiació contra organismes vius:

Hi ha dos tipus de pantalla o blindatge:

- Barreres primàries: atenuen la radiació del feix primari, és a dir, atenuen una radiació més concentrada en un sol punt.
- Barreres secundàries: eviten la radiació dispersa, per tant, eviten una radiació més dispersa i que es produeix en una àrea més extensa.

Aquests blindatges solen estar constituïts per materials absorbents de la radiació com plom, urani o ferro, o altres molt comuns, com el formigó i l'aigua. L'aigua permet a més visualitzar i manejar amb facilitat la font de la radiació.

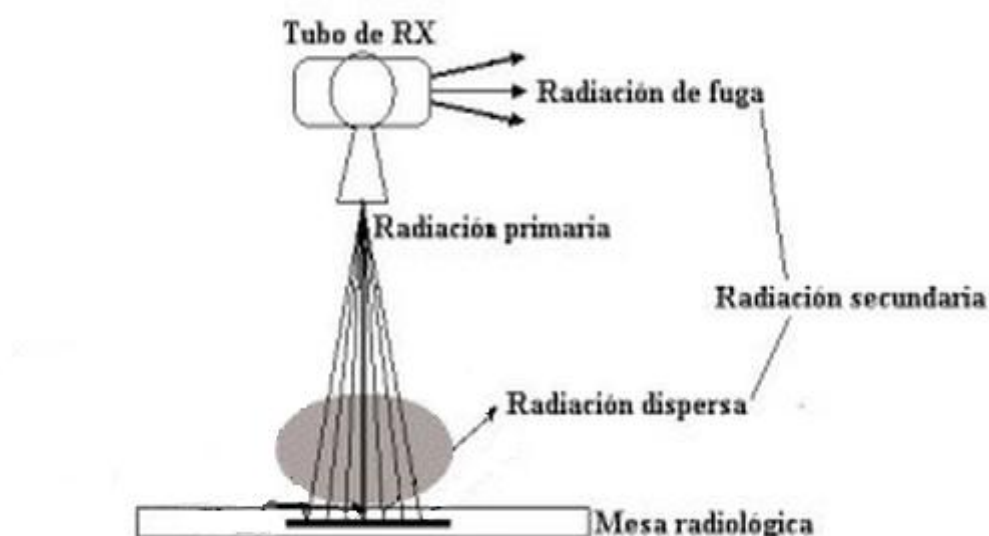


Fig. 17 Tipus de radiació que es poden produir, en aquest cas, per un tub de raigs X

També es poden classificar aquests blindatges segons la naturalesa de la radiació.

Radiació Beta

Aquest tipus de radiació pot ser detingut completament mitjançant un blindatge apropiat. El gruix depèn de l'energia de les partícules beta i de la densitat del material utilitzat. Cal tenir en compte que les partícules beta, en ser frenades en un material, generen raigs X que pot requerir al seu torn un altre blindatge diferent. Per tal de minimitzar aquest fenomen és convenient utilitzar materials de baix nombre atòmic per blindar la radiació beta.

Radiació electromagnètica: X i Gamma

En aquest cas la intensitat del feix de radiació s'atenua exponencialment amb el gruix del blindatge. El gruix necessari de blindatge depèn del grau d'atenuació que es desitgi aconseguir, de la naturalesa del material i de l'energia de la radiació electromagnètica.

Les característiques físiques dels tipus d'interacció i els valors econòmics dels diferents materials fan aconsellable utilitzar plom per a instal·lacions de raigs x d'energies fins a 200 kVmax i formigó per a instal·lacions de radiació gamma. Valors típics de gruix de blindatge són: 1 a 2 mm de plom per a instal·lacions de raigs x de diagnòstic i 1 a 2 m de formigó per radiació gamma com en instal·lacions de Radioteràpia.

7. Capacitat de diferents materials de fer de barrera

Una radiació ionitzant és aquella radiació formada per fotons o partícules que en interaccionar amb la matèria produeixen ions, tant si ho fan directa com indirectament. Per tant, una font de radiació emet partícules; amb major o menor velocitat depenent d'allò que les emeti.

Els materials que s'utilitzen per a frenar aquestes partícules són triats depenent de l'energia de les pròpies partícules. Que un material funcioni millor o pitjor com a barrera, depèn de la densitat del material. Això és així perquè quan més dens el material, més propers són els àtoms. Per tant, quan les partícules que desprèn la radiació impacten contra el material dens, xoquen els àtoms d'un i les partícules de l'altre repel·lint-les.

En l'experiment de Rutherford, això es pot veure clar; les partícules alfa són repel·lides pels nuclis dels àtoms d'or.

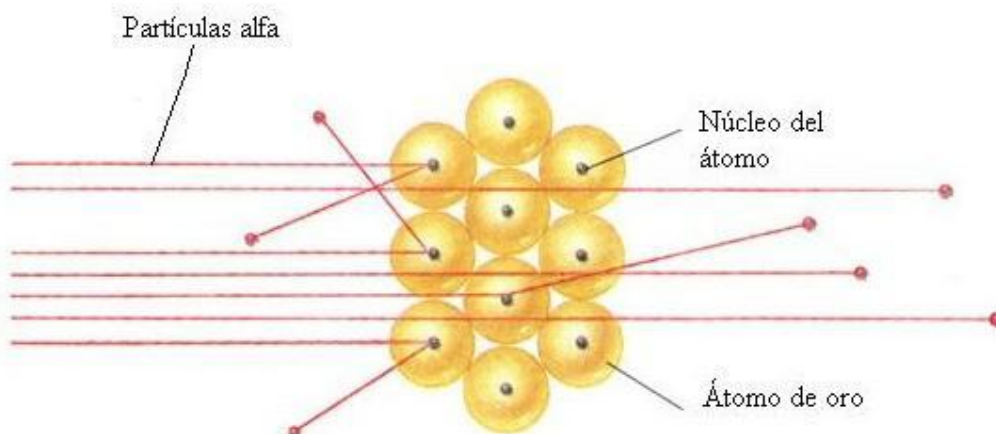


Fig. 18 Manera en que es van repel·lir les partícules alfa durant l'experiment de Rutherford

En el cas de Rutherford es va utilitzar or, un element que no serveix com a blindatge de partícules alfa.

No obstant, hi ha materials que s'utilitzen actualment per evitar la radiació i que tenen una gran eficàcia. Entre ells tenim el formigó, utilitzat per evitar radiació gamma. El formigó és un material de construcció format per una barreja de ciment, sorra, aigua i grava o pedra picada. A més, el formigó pot portar algun tipus d'additiu per millorar les seves característiques depenent de l'ús que se li doni a la barreja. No obstant, per a usar-lo com a barrera radiològica, es fa servir una variant del formigó anomenada formigó d'alta densitat.

El formigó d'alta densitat es defineix convencionalment com aquells formigons amb densitat superior a 3.000 kg / m^3 . En la seva confecció es fan servir minerals pesats o deixalles metàl·liques, aconseguint densitats d'entre 4.000 i 4.800 kg/m^3 . També es barregen àrids pesats amb àrids normals (els àrids són els materials granulats que s'utilitzen com a matèria prima) baixant els costos i la densitat. Les resistències d'aquests formigons són una mica superiors a les de formigons tradicionals aigua-ciment. Així doncs, el formigó, tant tradicional com pesat, és un material molt adequat per a les instal·lacions de protecció a causa de les seves bones propietats d'absorció, frenada de neutrons ràpids i relatiu baix cost en comparació amb altres materials de protecció.

Un dels casos on més s'ha utilitzat el formigó per evitar la radiació és després d'haver un incident a una central nuclear. Quan això passa, per tal d'evitar que la radiació es pugui expandir i afectar a persones o altres organismes vius de l'entorn, "s'enterra" la central sencera en formigó.



Fig. 19 Sarcòfag de formigó i acer construït sobre la central nuclear de Chernobil

Un altre material també molt utilitzat per evitar radiacions gamma o raigs X és el plom. Amb un o dos mil·límetres es poden evitar emissions de raigs X emeses. La seva densitat és de 11.3 g/cm^3 (11.300 kg/m^3) superior a la del

formigó, però menys usada degut a que el plom és un material molt més car que no pas el formigó.

Tot i que el formigó i el plom s'utilitzen com a barrera per a radiacions d'alta energia, també hi ha altres materials que s'utilitzen per evitar radiacions però d'una energia menor, com són les radiacions beta. Un exemple d'això és l'alumini, un metall lleuger. Una sola làmina d'alumini pot servir com a barrera per aquestes radiacions.

Tanmateix, degut a la poca energia de les radiacions beta, una peça de roba o el vidre d'una finestra també les poden parar (a l'aire no duren més d'uns pocs metres i a l'aigua pocs centímetres).

No s'utilitzen barreres contra radiacions alfa, ja que la seva energia és tan dèbil que no poden afectar a organismes vius a no ser que s'introdueixi dins de l'organisme.

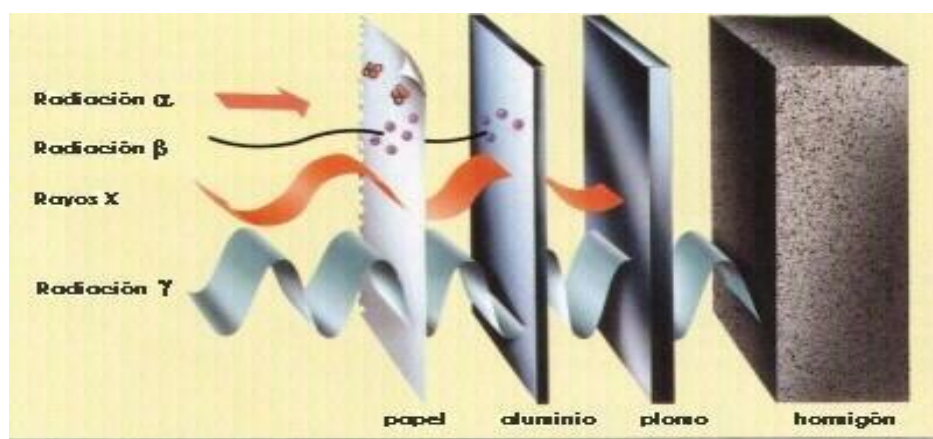


Fig. 20 Penetració dels diferents tipus de radiació sobre diferents barreres

8. Efectes a la salut causats per una exposició prolongada a radiació

Els efectes que provoca la radiació a la salut es poden separar en dos; els efectes deterministes o no estocàstics i els efectes probabilístics o estocàstics.

Els efectes no estocàstics són efectes deguts a la mort cel·lular. Si la pèrdua de cèl·lules d'un determinat òrgan o teixit és prou elevada es pot produir un dany susceptible de ser observat. Si el teixit és vital i pateix danys importants, el resultat final pot desenvolupar en la mort de l'individu exposat.

Es caracteritzen per l'existència d'un llindar de dosi. A dosis baixes es fa impossible que es manifestin els seus efectes. La gravetat dels efectes augmenta amb la dosi rebuda.

En funció de l'òrgan o teixit afectat podem trobar efectes tals com:

- Necrosis del teixit cel·lular subcutani
- Cataractes i conjuntivitis
- Esterilitat

El sistema cardiovascular, muscular i el sistema nerviós central solen ser radioresistents. Les cèl·lules més diferenciades com les nervioses o musculars son menys radiosensibles.

D'altra banda, la màxima quantitat de radiació acumulada en un sol dia per una persona és d'aproximadament 10 Sv (J/kg), on la radiació causa paràlisi a la persona i, a continuació, la mort. En dosis inferiors a aquesta, es pot sobreviure, però no sense patir forts efectes secundaris que puguin desembocar en una mort imminent.

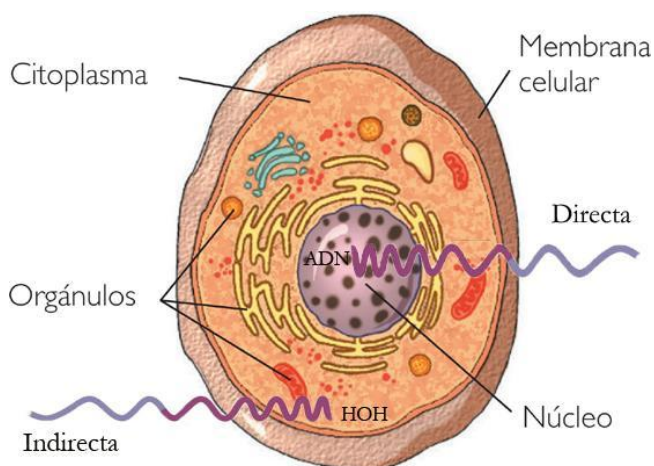


Fig. 21 Penetració directa i indirecta de radiació a una cèl·lula animal

Els efectes no estocàstics, d'altra banda, són molt diferents. Tot i que en l'organisme humà hi ha mecanismes efectius que ho evitin, una cèl·lula modificada però que segueixi viva pot, després d'un temps, reproduir-se en una còpia potencialment maligne, que pot arribar a desenvolupar un càncer radioinduït. Aquests són els principals efectes probabilístics.

El principal tret d'aquests efectes es que en tenir un caràcter més aviat aleatori, poden produir-se o no. Tanmateix poden manifestar-se en l'individu (amb efectes somàtics) o transmetre's a la descendència (efectes genètics).



Fig. 22 Destrucció d'una doble hèlix d'ADN a causa de radiació

Actualment no hi ha evidències de la relació dosi-efecte que provoca aquest efecte; això sí, la probabilitat de que succeeixi augmenta amb la dosi. No obstant, la gravetat del mal és independent de la dosi rebuda.

D'altra banda, una dona embarassada que rebi altes dosis de radiació pot causar diversos efectes en el embrió. En estar constituït aquest per cèl·lules indiferenciades i en divisió, té una radiosensibilitat relativament alta, en estar les cèl·lules en qüestió força exposades a una radiació que pogués produir una mort cel·lular. Els efectes derivats d'una radiació intrauterí depenen de la fase evolutiva de l'embrió o del fetus en el moment de la exposició. Els efectes poden variar des de malformacions o alteracions funcionals fins a un avortament.

9. Radiació a l'espai

A diferència del que molta gent pensa, a l'espai proper a la Terra no regna solament el buit, sinó que està ple de tot tipus de partícules. Algunes d'aquestes partícules tenen l'energia suficient per causar danys en el nostre organisme, provocant malalties com el càncer. La radiació ionitzant a la qual es veu sotmès un astronauta té tres orígens possibles: el Sol, els raigs còsmics i els cinturons de radiació terrestres.

Radiació solar

El sol, en no ser un astre estàtic, expulsa contínuament material des de la seva superfície. El feix de partícules expulsat rep el nom de vent solar. Aquest vent en qüestió és un plasma: un feix de partícules carregades amb un camp magnètic associat. Emet radiacions alfa, principalment, i una petita proporció de nuclis pesats. No obstant això, les radiacions que impliquen un risc a la salut per a astronautes són les tempestes solars.

Les tempestes solars comencen com a grans explosions a la superfície del Sol, que desemboquen en una explosió d'una gran quantitat d'energia a causa de les línies del camp magnètic i que tenen un caràcter aleatori. S'alliberen



Fig. 23 Tempesta solar a la superfície del Sol

protons, partícules alfa i alguns nuclis pesats (amb una energia molt alta). Les dosis a les que pot estar sotmès un astronauta a l'espai sense protecció poden arribar als 4Sv (potencialment letals). Afortunadament, les tempestes solars són poc freqüents, donant-se una cada, aproximadament, onze anys. D'aquestes, només el 20% arriba a afectar a la Terra. La probabilitat de que es doni una tempesta augmenta quan el Sol està prop del seu cicle d'activitat d'onze anys. Un cop comencen, triguen entre dotze hores i dos dies en arribar a la Terra, temps suficient com per alertar als astronautes amb una red convenient.

Estar sotmès a una tempesta solar pot tenir diversos efectes negatius sobre la salut. Entre els efectes més rellevants es troba el càncer de pell, que pot esdevenir més o menys greu segons el temps d'exposició. Tanmateix, pot provocar queratosi (àrees aspres i escamoses a la pell o arrugues profundes i permanents).

Rajos còsmics

Els rajos còsmics són partícules que s'originen al llarg de la galaxia. La majoria d'aquests rajos van ser creats fa milions d'anys per alguna explosió d'una supernova o en el disc d'algun forat negre. Aquestes radiacions recorren milers d'anys llum fins arribar al nostre Sistema Solar.

Les energies que poden portar els rajos en qüestió són molt variables, però poden arribar als 10 GeV per nucleó, més de deu vegades que un protó emès pel Sol. Per tant, algunes de les partícules dels rajos poden arribar a moure's a velocitats properes a les de la llum. La majoria dels rajos còsmics són protons, en un 90%; partícules alfa, en un 8% i nuclis pesats, en un 2%. Tot i la energia que poden arribar a tenir els rajos pot ser molt elevada, el flux dels mateixos és baix (sent inferior al del vent solar), cosa que minimitza la seva perillositat. Tanmateix, part del feix és desviat pels camps magnètics de la Terra i el Sol.



Fig. 24 Emissions de rajos còsmics que arriben a la Terra

Cinturons de radiació o cinturons de Van Allen

Els cinturons de radiació estan formats per partícules energètiques atrapades en el camp magnètic de la Terra. L'origen de les partícules són els rajos còsmics o el vent solar, cosa que explica la raó de que la majoria d'aquestes siguin protons amb energies de centenars de MeV. Cal destacar que també existeixen cinturons formats per electrons, però són molt menys perillosos. La forma i la intensitat dels cinturons de radiació varia amb el cicle solar, però la

major part de protons presenten una densitat màxima als 6000 quilòmetres d'altura respecte la Terra.

En principi, per evitar els cinturons de radiació, només cal mantenir-se per sota dels 500 quilòmetres d'altura respecte la Terra. No obstant, hi ha una distorsió que permet la penetració dels protons del cinturó a altures inferiors de 500 km. La regió en qüestió es troba prop de les costes de Brasil, i rep el nom de "L'Anomalia del Atlàntic Sud". L'Anomalia afecta a totes les missions espacials tripulades que s'apropin a la zona; entre elles, l'estació espacial internacional (gran part de la radiació que reben els tripulants de l'estació és degut a aquesta anomalia).

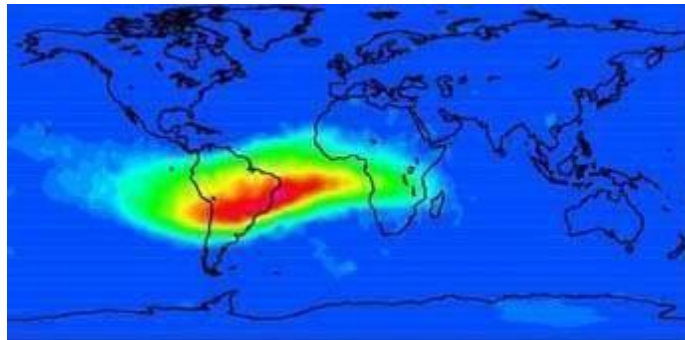


Fig. 25 Anomalia del Atlàntic Sud; sent les zones més vermelles les zones de major radiació

Els cinturons de Van Allen són dues zones de la magnetosfera terrestre on es concentren grans quantitats de partícules carregades d'alta energia, originades en la seva major part pel vent solar capturat pel camp magnètic terrestre. Són anomenats així en honor del seu descobridor, James Van Allen.

Aquests cinturons són àrees en forma d'anell de superfície toroïdal en què protons i electrons es mouen en espiral en gran quantitat entre els pols magnètics del planeta.

Hi ha dos cinturons de Van Allen:

-El cinturó interior s'estén des d'uns 1000 km per sobre de la superfície de la Terra fins a més enllà dels 5000.

-El cinturó exterior, que s'estén des d'uns 15 000 km fins a uns 20 000 km, no afecta satèl·lits d'òrbites altes / mitjanes, com poden ser els geostacionaris, situats a uns 35.000 km d'altitud.

Una regió del cinturó interior, coneguda com Anomalia de l'Atlàntic Sud (SAA), s'estén a òrbites baixes i és perillosa per a les naus i els satèl·lits artificials que la travessen, ja que tant els equips electrònics com els éssers humans poden veure perjudicats per la radiació. La Anomalia de l'Atlàntic Sud és una regió on els cinturons de radiació de Van Allen es troben a uns centenars de quilòmetres de la superfície terrestre. Com a resultat en aquesta regió la intensitat de radiació és més alta que en altres regions. La AAS (Anomalia de l'Atlàntic Sud) o SAA (acrònim en anglès) és produïda per una "depressió" al camp magnètic de la Terra en aquesta zona, ocasionada pel fet que el centre del camp magnètic de la Terra està desviat de el seu centre geogràfic en 450 km. Alguns pensen que aquesta anomalia és un efecte secundari d'una reversió geomagnètica.

El principal mètode utilitzat per als astronautes per evitar radiacions consisteix en realitzar viatges de poca duració; permetent així que les dosis rebudes es mantinguin baixes. El problema dels viatges espacials que impliquen arribar a gran altitud respecte la Terra és que en sortir del camp magnètic de la terra implica estar sotmès a quantitats de radiació molt perilloses.

En casos com l'Apol·lo que va anar a la lluna, en ser una expedició de poca durada, es va determinar que la probabilitat de que es donés una tempesta solar o alguna altra font de radiació espacial era molt baixa i que, per tant, els astronautes no patien cap risc en aquest aspecte. Tot i això, si s'hagués donat algun problema de radiació, les conseqüències per a la tripulació haurien estat desastroses.

9.1 Estudis per evitar radiació en viatges espacials de llarga durada

Crear un blindatge per a naus espacials que pugui protegir-les de les radiacions còsmiques no és fàcil. Els materials més efectius per a frenar radiacions de baixa energia són els plàstics, l'aigua i l'hidrogen; materials que no s'utilitzen, gairebé, a l'hora de construir les naus. A més, un blindatge d'aquesta mena no dona protecció contra els rajos còsmics més energètics. Doblar el gruix de les parets de la nau tampoc no és efectiu.

En comptes de crear un blindatge d'aquesta mena, una manera més efectiva per afrontar el problema seria la utilització de camps magnètics, o el que és el mateix, fer a petita escala el que fa la Terra. Aquests camps magnètics no disminuirien l'energia de les partícules, sinó que simplement les desviarien. No obstant, l'energia necessària per a crear un camp magnètic d'aquesta envergadura és necessària una potència elèctrica enorme, a més de que els camps magnètics molt intensos poden tenir efectes adversos a la salut.



Fig. 26 Prototip de nau destinada a evitar les radiacions còsmiques

Actualment, s'està estudiant la possibilitat d'utilitzar materials superconductors d'alta temperatura per a fer electroimants. La nau en qüestió a desenvolupar tindria sis electroimants disposats de manera hexagonal, anant al centre de l'hexàgon la tripulació de la nau (la potència per a fer funcionar la nau es basaria en un reactor nuclear.

Aquesta nau seria capaç de reduir la dosi de radiació a nivells similars o menors que els que trobem en un òrbita baixa, però encara no seria capaç de protegir contra rajos còsmics d'entre 2 i 4 GeV.

L'altra alternativa a aquest sistema serien els camps electrostàtics. Es crearia una nau amb estructures desplegable molt fines i molt extenses (a major

superfície, major capacitat elèctrica; per tant, major capacitat de desviar partícules) que envoltin la nau. Amb una geometria adequada, es poden aconseguir zones de protecció al voltant de la nau que evitin que les partícules acabin xocant contra el vehicle.

Tots aquests mètodes, no obstant, son purament teòrics i encara són lluny de poder dur-se a terme a la pràctica, majorment per la quantitat d'energia que requereixen i altres factors com que la geometria de la nau pugui acabant perjudicant a la tripulació.

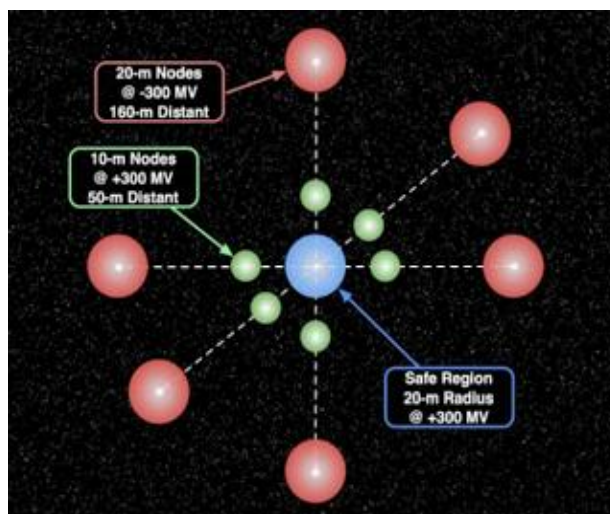


Fig. 27 Disposició d'una nau que genera camps electrostàtics, amb les estructures que els generen

10. Sortida a la universitat de Barcelona

Introducció

El dijous dia 5 d'abril, les quatre persones que estem fent el projecte de recerca sobre partícules i el tutor del projecte, en Dani Parcerisas, vam anar amb en Rafael Ballabriga (del CERN) a la universitat de Barcelona, al laboratori de física moderna per a experimentar amb el detector de partícules que ens ha estat cedit.

Al laboratori, a part dels quatre membres del grup de TR, el tutor de projecte i en Rafael, vam comptar amb algunes persones perquè ens ajudessin durant la experimentació: el doctor Eugeni Graugés (físic), el doctor Sergio Gómez (electrònica) i en David Sánchez (actual estudiant del doctorat en física).

Objectius

L'objectiu de la visita va ser poder experimentar sobre les partícules amb l'ajuda d'una màquina de raigs-X i el detector de partícules cedit pel C.E.R.N. i poder aprendre més sobre la física de partícules i les possibilitats que ens ofereix el detector de partícules.

Procediment

Per a la experimentació, vam analitzar diferents mostres, utilitzant el detector i la màquina de Raigs-X (model XR 4.0 marca Phywe).

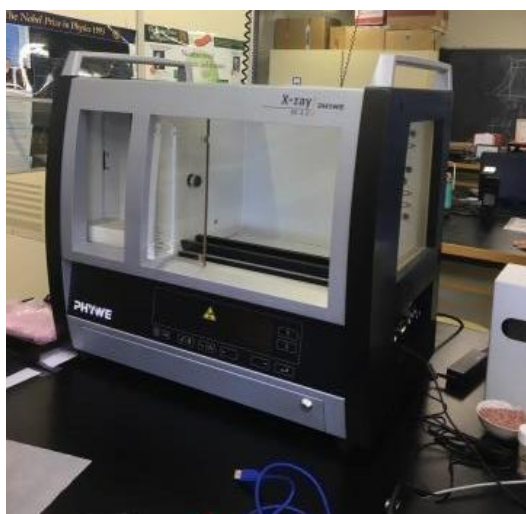


Fig. 28 Màquina de raigs-X model XR 4.0
Phywe

El primer a fer per analitzar cada mostra va ser situar una lent davant del punt d'emissió dels Raigs-X que ajudaria a focalitzar-los cap a la mostra que volíem analitzar. Primer vam iniciar la màquina i després el detector amb el programa informàtic per fer un anàlisi de l'arribada dels raigs al detector en forma d'imatge. Un cop fet això, vam situar la mostra a uns vint centímetres de l'emissor de Raigs-X, davant del detector de partícules; enganxat a la paret de la màquina. No va ser necessari retirar la tapa del detector, ja que els raigs podien penetrar-la sense cap impediment. Vam activar la màquina amb la mostra dintre, vam iniciar el programa del detector. Passada una estona va mostrar la imatge de la radiografia de l'objecte sotmès als raigs.

Amb l'ajuda de l'anàlisi previ de l'arribada de les ones i el programa del detector, vam aconseguir una imatge més nítida de la radiografia en fer la diferència de la matriu de la segona imatge amb la primera.

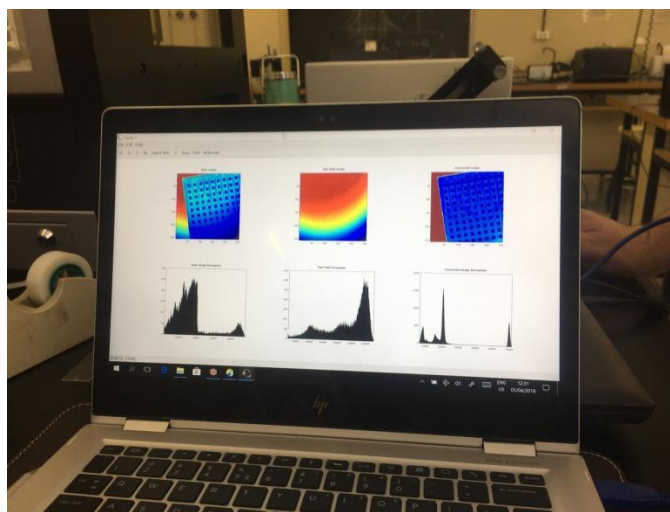


Fig. 29 Vista de la obtenció de la imatge nítida a través d'una matriu

Vam analitzar quatre mostres:

Una formiga: Era tan petita que no vam aconseguir cap imatge, ni tan sols regulant la potència dels raigs X degut a la petita mida que tenia, que feia que els raigs la travessessin sense cap impediment i que, per tant, no es pogués mostrar cap imatge de la mateixa.

Una targeta SD: L'anàlisi d'aquesta va ser un èxit. Vam poder veure els xips interns de la targeta.

Un tronquet petit: Amb aquest anàlisi, vam poder veure el relleu que tenia el tronquet, que va quedar ben marcat a la radiografia.

Un clip: Com el clip tenia un recobriment de plàstic, vam poder veure les dues capes, la de plàstic i la de metall.



Fig. 30 Diferents materials utilitzats a la pràctica

Funcionament de la màquina de Raigs X

El funcionament del tub de raigs està basat en un filament pel qual passa una corrent elèctrica (1 mil·liampere en el nostre cas). A causa dels electrons emesos pel corrent i un cert camp elèctric, aquests adquireixen una acceleració determinada. Amb la acceleració sorgeix un impacte dels electrons, que forma fotons de frenada i de fluorescència. Els fotons seran enviats a la mostra que es vol analitzar a través (o no) d'una lent i captats per un detector intern.

En el nostre cas, vam utilitzar el detector de partícules per captar la intensitat de les ones que travessaven els objectes. Depenent del material per on passen les ones, aquestes hi penetren més o menys o no hi penetren.

Conclusions

Gràcies a aquesta visita hem pogut aprendre més sobre les partícules de les quals estem fent el TR i sobre el programa informàtic que utilitzem per al detector. A més, vam guardar les imatges extretes durant el procés per poder-les analitzar millor amb posteritat.

11. Experiment del tronquet

Per aquest experiment, vam enfocar una font de rajos X cap a un tronquet petit de fusta. Darrere del tronquet vam situar el detector de partícules captant una imatge en blanc i negre del mateix.

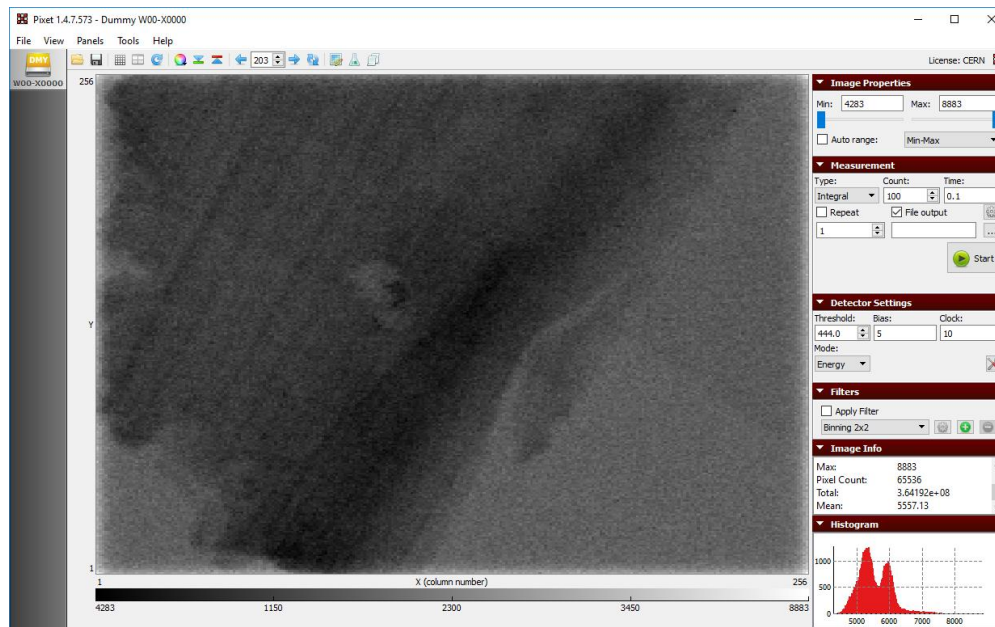


Fig. 31 Imatge del tronquet obtinguda a partir d'enfocar raigs-X entre el tronquet i el detector

Els raigs X són una forma de radiació ionitzant; és a dir, ionitzen els àtoms i les molècules dels materials que travessen. En el procés, els rajos X transfereixen part o tota la seva energia al material, de manera que un raig de rajos X s'absorbeix gradualment a mesura que passa per un material.

La disminució gradual de la intensitat d'un raig de raigs X a mesura que passa per la matèria es denomina atenuació, sent la intensitat dels rajos l'àrea de potència per unitat transversal.

En aquest cas, es pot veure com el tronquet ha quedat marcat a la imatge. Per tant, Els rajos X han estat parcialment absorbits. Les parts que es mostren més negres són aquelles on els rajos passaven amb més dificultat i les més blanques (grises) per on passava amb una major facilitat. Tal com es pot veure, la atenuació que s'ha produït ha estat baixa. En ser el tronc molt prim, els rajos poden travessar-lo amb facilitat, ja que l'objecte absorbeix molt poca de la

energia transmesa per la font. També es poden apreciar les irregularitats del tronquet, veient com es dibuixen unes línies negres que travessen el tronc (zones on el tronc és més gruixut).

Com es pot veure, els rajos-X poden travessar el tronquet, que està compost per cèl·lules. Tot i que aquestes cèl·lules ja no fossin actives quan s'hi va aplicar la font de raigs-X, s'ha de tenir en compte que les partícules dels raigs poden, perfectament travessar cèl·lules i, per tant, poden arribar a danyar-les si es produeix una exposició molt prolongada. Els efectes secundaris d'una exposició prolongada de raigs-X es troben l'enrogiment de la pell, l'esterilitat, les cataractes i la pèrdua de cabell. D'aquests, no s'han documentat casos d'esterilitat ni de cataractes en els pacients sotmesos a exàmens diagnòstics i a intervencions. En rares ocasions s'han documentat casos de radiolesions (eritema) en intervencions que van exigir temps de fluoroscòpia d'una hora o més.

Aquest tipus d'anàlisi és molt similar a les radiografies que es duen a terme actualment als hospitals i que permeten veure afeccions a ossos i a alguns òrgans. A les radiografies dels hospitals, no obstant, hi ha alguns mètodes que es duen a terme per disminuir la quantitat de radiació que arriba al pacient, ja que una exposició excessiva podria arribar a provocar un efecte negatiu. Entre aquests mètodes es troben les barreres de radiació, que seran estudiades més endavant. Tanmateix, en els hospitals, per tal de poder observar, per exemple, teixits del sistema digestiu, s'utilitzen pastilles ingeribles que resulten innòcues per a les persones però que absorbeixen molt bé les radiacions de raigs-X i que, per tant, permeten obtenir una imatge d'aquests teixits. Entre aquestes substàncies es troben, per exemple, el bari. Així doncs, aquest experiment ens ha permès fer un anàlisi sobre les capes del tronc i sobre la quantitat de radiació que ha absorbit el mateix, permetent-nos veure les diferents capes que el componen.

Aquesta imatge serà presentada al V concurs de fotografia d'imatges de Física 2018, juntament amb una breu explicació d'allò que es mostra a la mateixa.

12. Exposició a la Bareclona Tecno Week

El dia 6 de juliol els companys que també realitzen el treball de recerca amb l'ajut del detector TimePix i jo vam ser convidats a realitzar una exposició a la universitat de Barcelona durant la Barcelona Tecno Week. En Pol Marcos, però, no va poder assistir-hi. La seva part de l'exposició va ser repartida entre els demés companys.

A la mateixa, vam fer una explicació d'allò que estàvem investigant i les pràctiques que hauríem de realitzar per al treball de cadascú, Tanmateix vam mostrar el funcionament del detector.

Les persones davant les quals va ser realitzada la exposició eren alumnes de segon de batxillerat, als quals se'ls donaria la oportunitat d'utilitzar el mateix detector que el que estàvem utilitzant nosaltres. Així, la nostra experiència els ajudà a comprendre allò que anaven a fer i les aplicacions que podien tenir el seu ús.

Van ser presents, tanmateix, el doctor Rafael Ballabriga i en Daniel Parcerisas, el nostre tutor del treball.

Aquesta experiència ens va permetre mostrar què estàvem fent al nostre treball i, així, mostrar a uns alumnes de segon de batxillerat una eina tant excepcional com és el detector de partícules TimePix.



Fig. 32 Imatge presa durant l'exposició a la Universitat de Barcelona

13. Pràctica introductòria

Objectius

Iniciar-se en l'ús d'un detector de partícules TimePix i del programari PixetPro, Identificar els diferents tipus de radiació del rastre que deixen en el detector, i relacionar aquests rastres amb les característiques que presenten les partícules que el formen, mesurar l'energia cinètica de les partícules absorbides al detector, comprovar la importància de la desviació relativista en el càlcul de la velocitat de les partícules per a la radiació beta.

Configuració del detector

Radiation	source:	radiation	Integral mode: Yes
substance			Exp. count: 100
Analysis type: Basic			Exp. time: 1s
Mode: Spectrometer			Min. level: 0
Bias voltage: 20 V			Max level: 100
Continuous m.: No			Colormap: Jet white

Materials

- Detector de partícules TimePix
- Ordinador

Substàncies

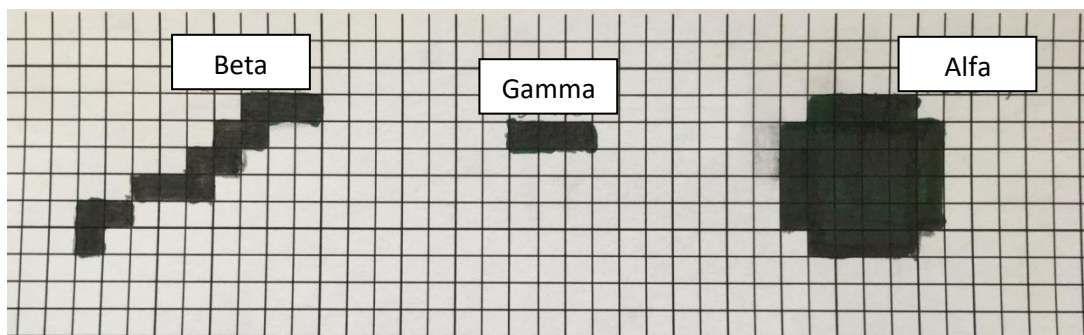
- Mostra radioactiva

Procediment

Connectem el detector de partícules TimePix al port USB de l'ordinador, un cop l'ordinador hagi estat encès. A continuació obrim la porta de protecció del detector, apropem la mostra radioactiva al mateix (entre 1 i 2 cm de distància, procurant que la substància no toqui el detector) i iniciem el programa del mateix (iniciant també el període de detecció amb la configuració marcada). Guardem els resultats obtinguts.

Resultats

A partir del procediment, podem observar els diferents tipus de radiació que pot produir una substància radioactiva. Podem realitzar un esquema aproximat de la fora que tenen les diferents radiacions (alfa, beta i gamma).



Tanmateix, a partir del programa podem calcular la energia cinètica absorbida pel sensor degut als diferents tipus de radiació i la velocitat dels mateixos, seguint els models clàssic i relativista per al càlcul de la velocitat. Per a fer-ho, hem de tenir en compte les fórmules per a calcular la energia cinètica i la velocitat; clàssiques i relativistes.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \frac{2E_K}{m}$$

Fórmules clàssiques

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{(1 + \frac{E_K}{E_0})^2}}$$

$$E_k = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Fórmules relativistes

Energies en repòs (E_0) de les partícules alfa i beta:

$$E_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C (coulombs)}$$

$$E_\beta = 1,99 \cdot 10^{-18} \text{ C (coulombs)}$$

Realitzem una taula que mostra cadascuna de les energies captades de les partícules alfa i de les partícules beta. Mesurarem la energia i velocitat de cinc casos diferents en tots dos tipus de radiació

Partícules alfa

E_K (KeV)	8199	6561	4624	12289	7674
v (relat.) (ms⁻¹)	$1'98 \cdot 10^7$	$1'77 \cdot 10^7$	$1'49 \cdot 10^7$	$2'42 \cdot 10^7$	$1'92 \cdot 10^7$
v (class.) (ms⁻¹)	$1'98 \cdot 10^7$	$1'77 \cdot 10^7$	$1'49 \cdot 10^7$	$2'98 \cdot 10^7$	$1'92 \cdot 10^7$
v/c (relat.) (ms⁻¹)	0'066	0'059	0'05	0'081	0'064
v/c (class.) (ms⁻¹)	0'066	0'059	0'05	0'099	0'064
Desviació (%)	0	0	0	0'231	0

Partícules beta

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

Per a la radiació gamma, a diferència de les altres dues, calcularem, en comptes de la velocitat, la freqüència, la longitud d'ona i el seu moment lineal. A la taula es pot veure la quantitat de moviment que ha cedit el fotó a la placa de silici del detector.

Partícules gamma

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

14. Pràctiques d'anàlisi de radiació

14.1 Visualització dels camins de la radiació ionitzant emesa per diferents substàncies radioactives

Objectiu

Visualitzar la radiació emesa per les varetes i intentar quantificar-la.

Hipòtesi

Les diferents substàncies tindran diferents tipus de radiació

Configuració del detector

Radiation source:	radiation	Integral mode:	No
	substance	Exp. count:	100
Analysis type:	Basic	Exp. time:	1s
Mode:	Spectrometer	Min. level:	0
Bias voltage:	20 V	Max level:	100
Continuous m.:	Yes	Colormap:	Hot

Materials

- Detector de partícules TimePix
- Ordinador
- Allargador USB

Substàncies

-Varetes de tungstè	-Plàtan
-Uranat de sodi	-Nous de Brasil
-Òxid d'urani	-Agulla de rellotge antic (radi)
-Cigarreta	-Sulfat potàssic (potassi 40)

Procediment

Connectem el detector al allargador USB i l'altre extrem de l'allargador el connectem a l'ordinador (al port USB), un cop haguem engegat aquest últim. A continuació, posem el detector horitzontalment. Calculem una distància

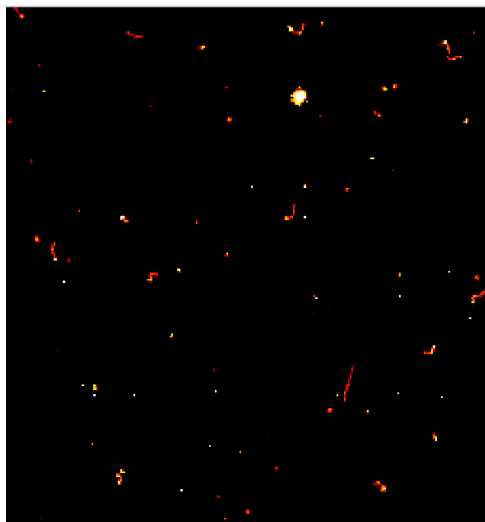
aproximada d'un centímetre del detector. Totes les substàncies seran posades a la mateixa distància. Posem, d'una en una, cada substància a la distància marcada i iniciem el programa del detector i el període marcat de detecció, havent obert la tapa protectora del mateix detector. Guardem els resultats per fer una comparativa i anàlisi posterior dels resultats.

Resultats

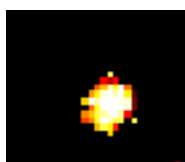
A continuació, es mostra l'anàlisi de les dades registrades pel detector amb les diferents substàncies, a més de la interpretació de les mateixes.

Varetes de tungstè

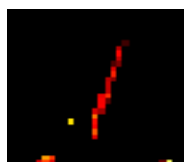
min: 0
max:100



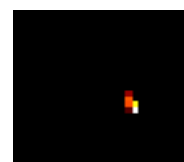
Amb les varetes de tungstè hem rebut tot tipus de radiació (alfa, beta i gamma)



Alfa



Beta



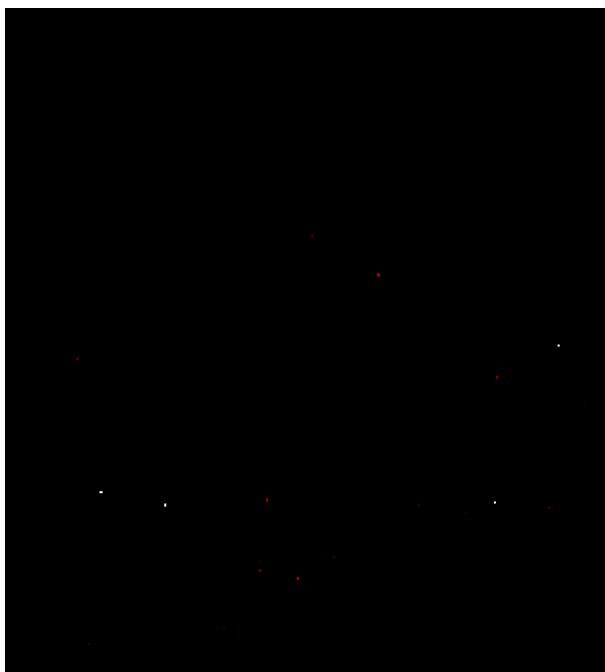
Gamma

La radiació alfa en concret, es pot veure molt clarament, ha quedat ben marcada en el monitor.

Aliments

min: 0

max:100

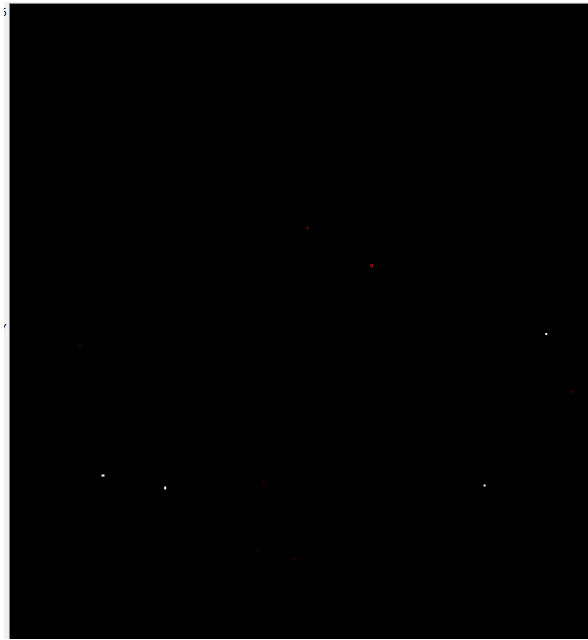


Plàtan



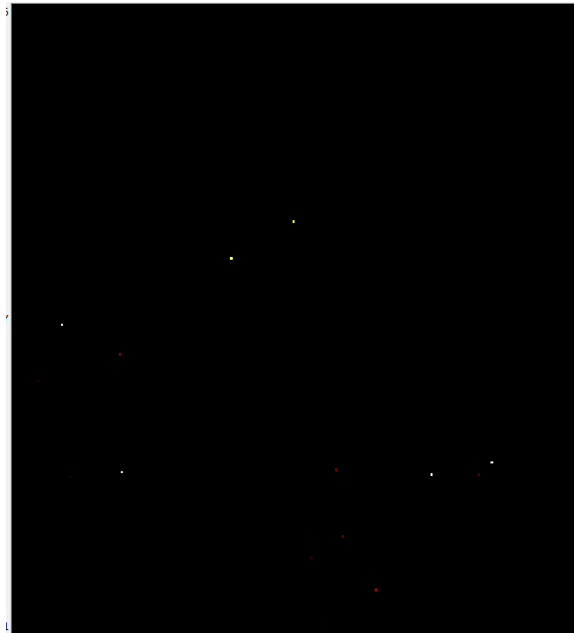
Nous de Brasil

Amb els aliments, no s'ha trobat cap tipus de radiació més enllà d'una petita radiació de l'ambient i uns petits punts causats per defectes en el detector. L'activitat radioactiva, doncs, ha estat nul·la i no he trobat traces de ningun tipus de partícula.

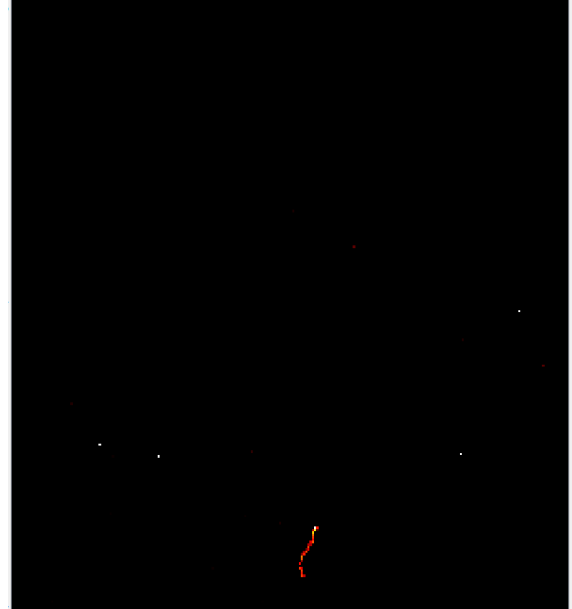
Cigarreta**min: 0****max:100**

Amb la cigarreta ha passat el mateix que amb els aliments mesurats. Si bé és cert que la cigarreta conté tungstè, la possible radiació que aquest emet és massa petita com per apreciar-la amb el nostre detector. Si bé és cert que es poden veure marques en el panell, totes elles són degudes a defectes del detector i a radiació ambiental, un cop més.

Això pot indicar que si bé és cert fumar implica un risc als pulmons (entre d'altres, per exemple, per contenir quitrà), la radiació que té causada pel tungstè no és prou alta com per indicar un risc. Caldria utilitzar un aparell més precís per poder veure la radiació despresa realment.

Rellotge antic (radi)**min: 0****max:100**

Amb el rellotge antic ha passat el mateix que amb la cigarreta i els aliments: no s'ha trobat una radiació més enllà de la ambiental i els errors propis del detector. Es plantegen dues opcions per aquests resultats. La primera és que la quantitat de radi que contenen les varetes sigui ínfima, cosa que faria que no hi hagués radiació detectada. La segona (i més plausible) és que el rellotge utilitzat hagi estat confós i realment no contingui radi, sinó alguna altra substància que s'assembli a ull nu.

Sulfat potàssic**min: 0****max:100**

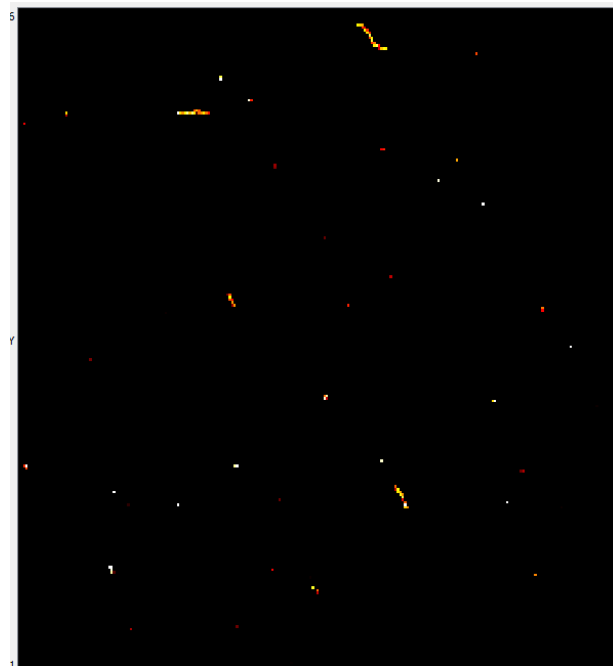
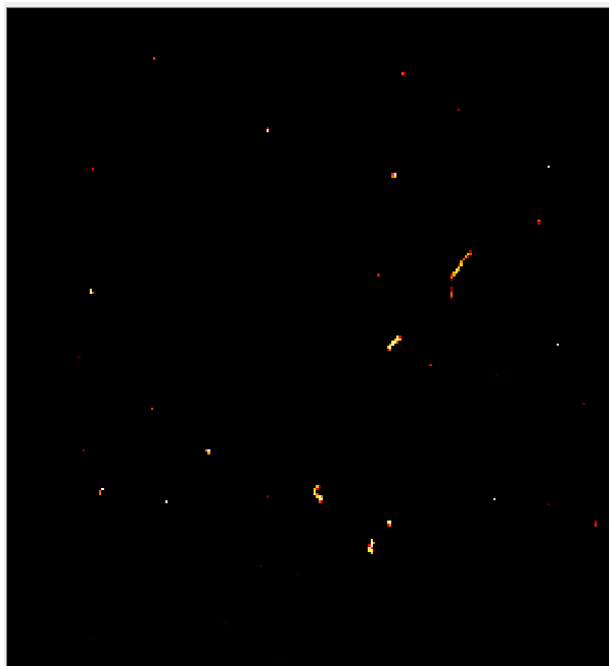
Amb el sulfat potàssic he detectat una partícula alfa i una beta, però no he trobat traces de radiació gamma. La quantitat de radiació despresada pel sulfat potàssic és força baixa en comparació amb les demés mostres observades. A diferència de les altres mesures, aquesta ha estat captada en frames (imatges cada certs segons) per tal de poder apreciar millor les partícules alfa que es despreguessin. Tanmateix es va fer un integral per comparar amb la resta de substàncies

min: 0**max:100**

Òxid d'urani

min: 0

max:100

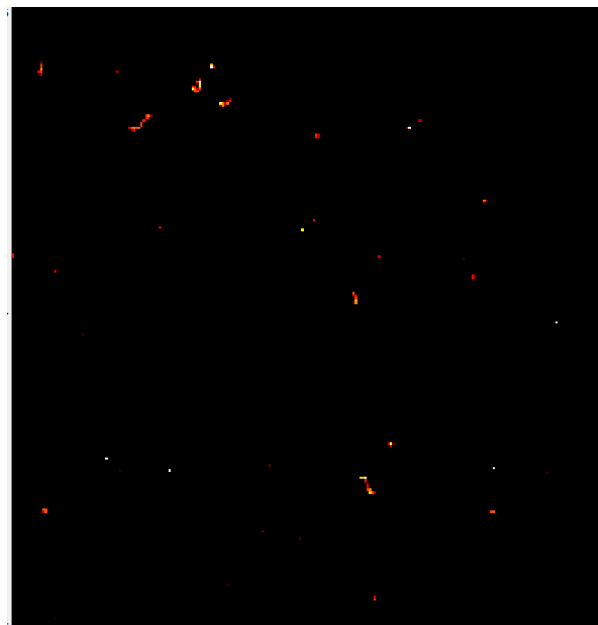
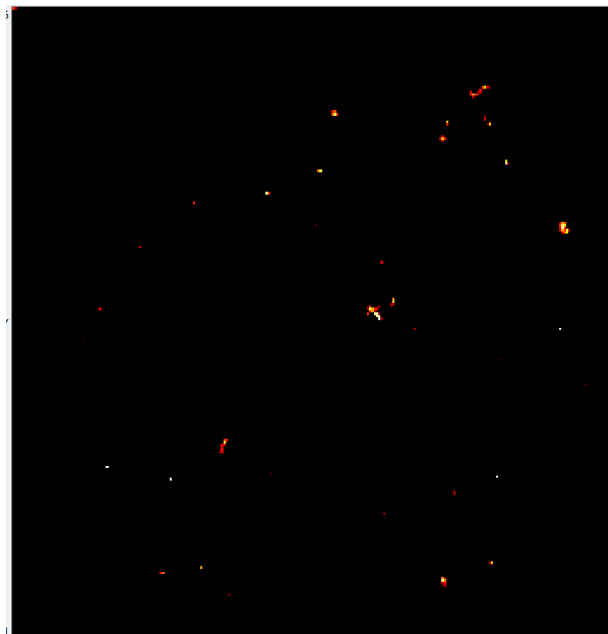


A l'òxid d'urani ha estat molt notòria l'activitat de partícules beta, quedant les partícules gamma a un segon pla i sense trobar traces de partícules alfa. Les beta són especialment llargues i abundants.

Uranat de sodi

min: 0

max:100



Amb l'uranat de sodi he trobat traces de partícules gamma i petites traces de beta, però no hi ha ni rastre de partícules alfa. Aquest resultat es correspon amb les mesures registrades amb l'òxid d'urani. En ser la radiació causada per la desintegració d'urani en tots dos casos, era d'esperar arribar a aquest resultat. La quantitat de radiació, sí bé és semblant, és lleugerament superior en l'òxid d'urani. Això pot ser a causa de les mesures concretes que s'han pres, en tenir l'urani el mateix període de semidesintegració sempre.

14.2 Comparació de la radiació emesa per diferents substàncies

Així doncs, si fem un recompte de les partícules emeses en aquest temps de cada substància, podem classificar les substàncies de menys a més radioactives, amb la quantitat de radiació gamma que presenten (aproximadament):

1- Cigarreta, nous de Brazil, plàtan, rellotge antic (radi):

-No s'ha trobat radiació rellevant

2- Sulfat potàssic

- 3 partícules beta, 15 gamma, 1 alfa

3-Uranat de sodi

- 3 partícules beta, 20 gamma, 0 alfa

4-Òxid d'urani

- 4 partícules beta, 30 gamma, 0 alfa

5-Varetes de tungstè

- 10 partícules beta, 60 gamma, 1 alfa

Tot i contenir tant l'òxid d'urani com l'uranat de sodi l'urani com a substància radioactiva, les quantitats del material en cada compost pot haver afectat notòriament, sent major la seva presència en l'òxid d'urani que en l'uranat de sodi.

Així doncs, de les substàncies analitzades la que més radiació ha emès han estat les varetes de tungstè que, a més, han mostrat alts nivells de tots els tipus de radiació.

15. Experiments de barreres

15.1 Absorció de partícules en paper d'oficina i en paper d'alumini

Objectiu

Estudiar la penetrabilitat de les partícules a través d'alguns obstacles.

Hipòtesi

El paper d'oficina i el tovalló no representen cap obstacle per a les partícules, mentre que el paper d'alumini farà que de les partícules no arribin al detector.

Configuració del detector

Radiation source: tungsten

Integral mode: No

Analysis type: Basic

Exp. count: 100

Mode: Spectrometer

Exp. time: 0,5 s

Bias voltage: 20 V

Min. level: 0

Continuous m.: Yes

Max level: 50

Colormap: Hot

Material

-Detector

-Ordinador

-Allargador USB

Substàncies

-Font de radiació

-Paper de film

-Paper d'oficina

-Paper d'alumini

-Tovalló de paper

Procediment

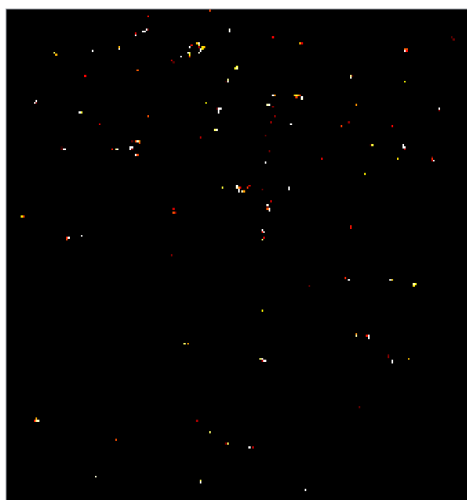
Amb l'ajut de l'allargador USB, posarem el detector vertical. Davant del mateix posarem la font de radiació. Farem mesures tres vegades: la primera sense cap obstacle; la següent cobrint un quart del chip i la última cobrint tres quartes parts del mateix. Observem els resultats i en fem l'anàlisi.

Anàlisi

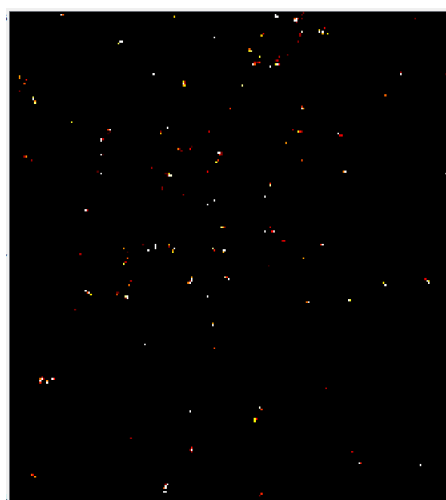
Per a fer l'anàlisi ens basarem en la quantitat de partícules que penetren les barreres i en la energia de les mateixes. Tanmateix, ordenarem les barreres per a veure quines son més aïllants i quines menys. Repetim el procediment amb els diversos objectes

Resultats

min:0



max:100



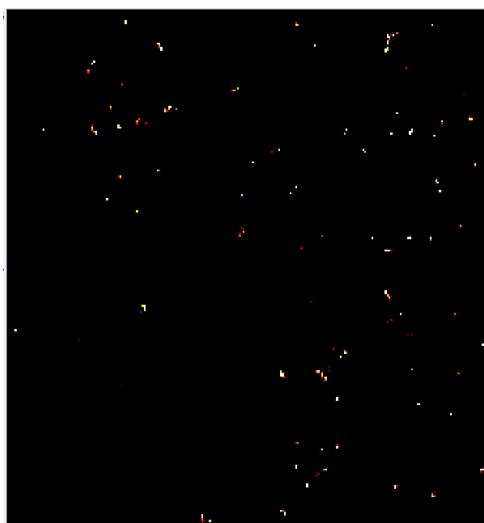
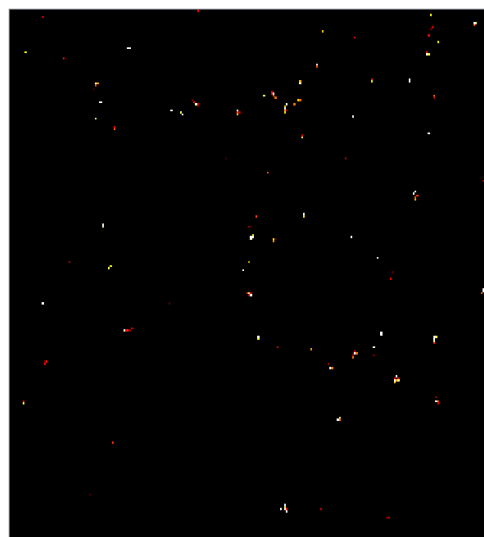
Paper d'oficina 5 capes

Paper d'oficina 30 capes

El paper d'oficina ha resultat inconsistent com a barrera de radiació. Les partícules l'han passat amb facilitat, tant amb una com amb dues capes. Les fibres que formen el paper d'oficina no han pogut parar la radiació, per més que s'augmentessin les capes d'aquest paper, la radiació seguia penetrant sense cap problema.

min:0

max:100

**Paper d'alumini 1 capa****Paper d'alumini 3 capes****Paper d'alumini 27 capes**

Amb el paper d'alumini, s'han necessitat 27 capes per fer que gairebé tota la radiació no arribés al detector. Amb una i tres capes, no es pot apreciar un canvi significatiu amb la radiació original. Les 27 capes corresponen a, aproximadament, una barrera de 8 cm de gruix. Tanmateix, l'energia de les partícules que han arribat fins el detector s'han reduït, sent aquestes partícules de menor energia que les d'origen, totes gamma.

Així doncs, el paper d'oficina ha estat totalment ineficaç a l'hora de parar la radiació. No hi ha hagut cap diferència apreciable entre les cinc i les trenta capes de paper d'oficina, cosa que podria indicar que les fibres que formen el paper d'oficina no poden parar en absolut la radiació.

D'altra banda, al paper d'alumini sí s'ha pogut apreciar una diferència en la radiació que arriba al detector. A partir de les 27 capes d'alumini, gairebé tota la radiació ha deixat de penetrar, tot i que algunes partícules gamma d'alta energia han pogut passar-hi de tota manera.

S'han complert parcialment les hipòtesis; si bé és cert que el paper d'oficina no ha estat un impediment per a la radiació en cap dels casos, el paper d'alumini no ha parat totalment la radiació ni tan sols a les trenta capes (a partir de les quals per més que augmentés la quantitat de capes el resultat no es veia afectat).

15.2. Absorció de partícules en paper de film

Objectiu

Veure què succeeix a les partícules en passar a través del paper de film

Hipòtesi

El paper de film dificultarà que les partícules arribin fins al detector

Configuració del detector

Radiation source: 241 Am

Integral mode: Yes

Analysis type: Basic

Exp. count: 60

Mode: Spectrometer

Exp. time: 0,01

Bias voltage: 20 V

Min. level: 0

Continuous m.: No

Max level: 50

Colormap: Hot

Material

- Detector
- Ordinador
- Allargador USB

Substàncies

- Font de radiació alfa
- Paper de film

Procediment

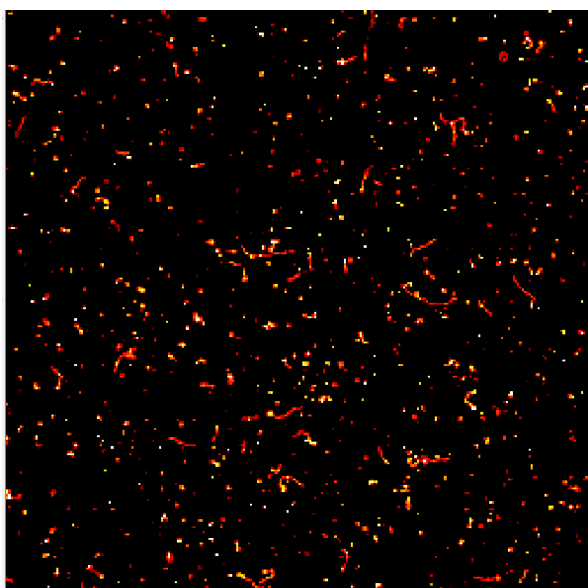
Utilitzarem el allargador USB per posar el detector en vertical. A continuació, deixant un cert espai, posem la font de radiació alfa davant del detector. Després, posarem el paper de film entre el detector i la font de radiació. Mesurem els impactes de les partícules i, després, fem una altra mesura amb dues capes de paper film i una altra sense el paper de film.

Anàlisi

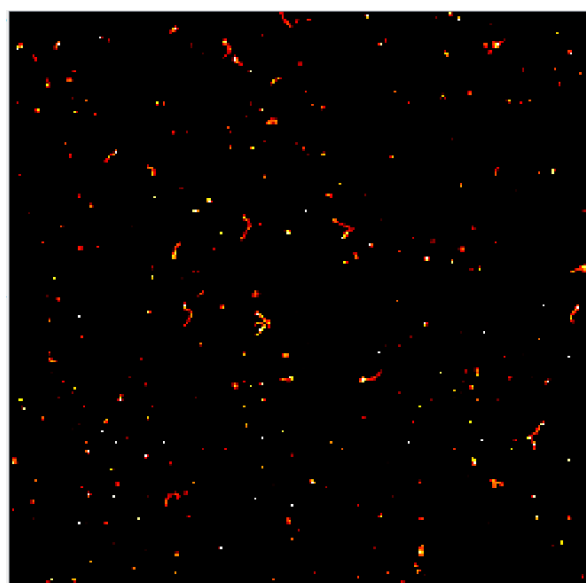
En fer l'anàlisi ens basarem en l'energia de les partícules i el nombre d'impactes, comparant els impactes que es produeixen amb el paper de film i els que es produeixen sense el mateix.

Resultats

Després de fer les mesures amb el detector, podem obtenir el següent resultat



Sense paper de film



Deu capes de paper de film

El paper de film ha impedit el pas de les partícules, però no només això. Ha baixat la energia general de totes elles, fent que aquelles partícules menys energètiques no fossin detectades en absolut. Tot i realitzar diverses mesures, no s'ha pogut aïllar cap partícula alfa, cosa que hauria ajudat a veure millor el canvi d'energia de les partícules a través del film.

S'han complert les hipòtesis plantejades, tot i que no s'havia previst el canvi d'energia de les partícules.

15.3. Partícules a través de paper porós

Objectiu

Veure com passen les partícules a través d'aquest tipus de barrera i comparar-la amb el paper de film.

Hipòtesi

El paper porós no representarà una resistència per a les partícules.

Configuració del detector

Radiation source: 241 Am

Integral mode: Yes

Analysis type: Basic

Exp. count: 100

Mode: Spectrometer

Exp. time: 0,1 s

Bias voltage: 20 V

Min. level: 0

Continuous m.: No

Max level: 50

Colormap: Ho

Material

Detector

Ordinador

Allargador USB

Substàncies

Font de radiació (varetes de tungstè)

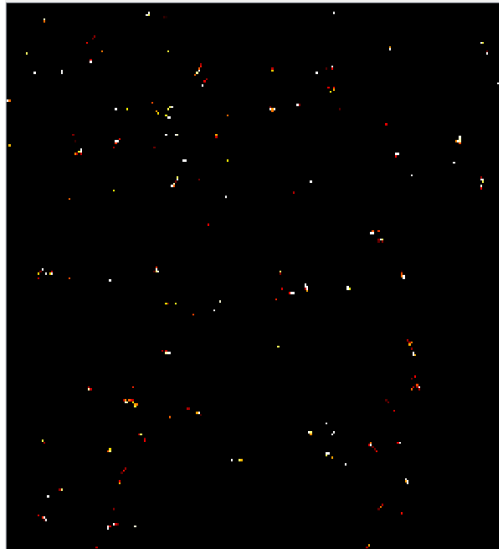
Paper porós

Procediment

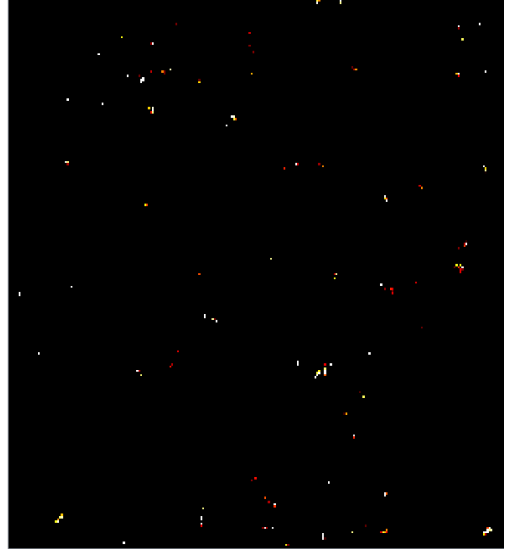
Utilitzem l'allargador USB per posar el detector en vertical i posem la font de radiació (varetes de tungstè) davant del detector. Primer, farem una mesura de les partícules alfa prèvia a utilitzar la barrera. A continuació, posem entre la font de radiació i el detector el paper porós. Fem una altra mesura.

Resultats

Per a l'anàlisi compararem les mesures; la de la barrera i la que no la utilitzava, mirant el nombre d'impactes i l'energia que tenen.



Paper porós 1 capa



Paper porós 23 capes

El paper porós no ha servit com a mètode efectiu per parar la radiació. No obstant això, sí que s'ha disminuït l'energia que ha arribat al detector, tot i que no ha estat un canvi massa significatiu.

Les hipòtesi no s'han complert, ja que el paper porós sí ha impedit que arribessin algunes partícules i n'ha baixat l'energia d'altres.

15.4 Comparativa de les barreres de radiació

Les barreres estudiades han tingut diferents efectes sobre la radiació ionitzant emesa pel tungstè.

Tant el paper porós com el paper de film ha estat capaç de baixar l'energia de les partícules emeses. El plàstic que conforma el film i les fibres del paper porós han absorbit part de l'energia emesa, tot i que el paper de film ho ha fet d'una manera més efectiva que no pas el paper porós.

El paper d'alumini ha servit com a barrera de radiació relativament efectiva, ja que a partir de la 27 capa gairebé tota la radiació era absorbida. Així doncs, l'alumini sembla ser un element capaç d'absorbir radiacions del tipus beta, però no tant en absorbir radiacions d'alta energia de tipus gamma, que seguien penetrant per més que augmentessin les capes del material.

El paper d'oficina, d'altra banda, no ha estat eficaç en cap aspecte. No ha pogut parar cap tipus de radiació per més que augmentessin les capes del mateix.

Així doncs, de les barreres estudiades, el paper d'alumini ha estat la més eficaç; cal destacar, no obstant això, la capacitat del paper de film d'abaixar l'energia de les partícules.

16. Conclusions

Per la part de les substàncies, he pogut visualitzar la radiació emesa per totes elles i la quantitat de la mateixa. El plàtan, les nous de Brazil i les agulles de rellotge no han emès cap tipus de radiació en absolut; mentre que l'òxid d'urani, el uranat de sodi, les varetes de tungstè i el sulfat potàssic han emès una radiació notòria que ha pogut ser analitzada i classificada amb el detector de partícules amb èxit.

D'altra banda, també he pogut analitzar diferents barreres de radiació d'ús quotidià i veure'n l'eficàcia. El paper d'oficina és totalment ineficaç com a barrera, el paper de film i el paper porós son capaços de baixar l'energia de les partícules emeses i el paper d'alumini pot parar gran part de la radiació que hem emès.

Tanmateix la pràctica realitzada a la universitat de Barcelona ha permès veure una aplicació de les partícules radioactives i del detector, mostrant imatges de l'interior d'un xip, un clip i un tronquet de fusta.

Així doncs, s'han assolit els objectius del treball.

No obstant això, s'han produït diversos problemes a l'hora de fer els experiments. El fet de no tenir un material capaç d'emetre un sol tipus de radiació en concret ha fet que algunes de les mesures hagin hagut de ser repetides diverses vegades per tal d'obtenir un resultat fidedigne.

En cas d'haver tingut més temps per a elaborar el treball, m'hauria agradat poder fer un estudi molt més ampli de barreres i substàncies, per tal d'abastar-ne el major nombre d'aquestes possibles. A més, també hauria estat interessant realitzar alguna altra pràctica a la universitat de Barcelona per tal d'entendre millor el funcionament dels raigs X.

Aquest treball de recerca m'ha permès estudiar amb profunditat una realitat com és la de la radiació. Estic content d'haver escollit aquest tema entre tots per a fer el meu treball de recerca. He pogut aprendre moltes coses sobre com funciona la radioactivitat i com evitar-la, els diferents tipus d'aquesta, com

s'origina... Tanmateix, veure com s'ha creat el detector de partícules m'ha fet veure que no és un dispositiu tan complicat, i que potser, en un futur, jo mateix podria ser capaç de crear alguna cosa de semblant, amb els recursos i estudis previs necessaris.

Finalment, m'agradaria recalcar que estic molt satisfet amb la feina feta i els resultats obtinguts. Els coneixements que he adquirit durant aquest treball m'han enriquit molt i em serviran en un futur no gaire llunyà. He pogut entendre, una mica millor, el funcionament del món. Les tècniques que he adquirit tant en la documentació com a l'hora de fer pràctiques em seran, tanmateix, molt útils per als pròxims estudis que pugui realitzar.

17. Agraïments

Aquest treball ha tingut una sèrie de persones al darrere sense les quals no podria haver estat realitzat. Primer, m'agradaria agrair l'esforç i dedicació de Daniel Parcerisas, el tutor encarregat d'aquest treball de recerca, que m'ha ajudat en tot moment per tirar el projecte endavant.

També he d'agrair a Rafael Ballabriga del CERN per donar-nos l'oportunitat de fer aquest treball cedint-nos un detector de partícules experimental, així com al Doctor Sergio Gómez Fernández i el Doctor Eugeni Graugés Pous professors de la universitat de Barcelona que ens van permetre realitzar la pràctica de raigs X, aportant-nos la màquina i els coneixements necessaris. Tanmateix vam rebre l'ajut d'en David Sánchez Gonzalo, estudiant de doctorat en física.

L'ajuda que m'han proporcionat els meus companys de treball de recerca m'ha resultat molt útil. M'han resolt dubtes i m'han ajudat sempre que els hi ho he demanat.

Finalment, vull agrair a la meva germana pel suport que m'ha donat durant tot el treball, tant en qüestions conceptuals com estilístiques.

18. Bibliografia

Pàgines web

Apuntes de electromedicina. Conocimiento. Xavier Pardell. Juliol de 2018

<http://www.pardell.es/las-radiaciones.html>

Wikipedia. Formigó. Juliol de 2018

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Formig%C3%B3>

Wikipedia. Árido (minería). Juliol de 2018

[https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rido_\(miner%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rido_(miner%C3%ADa))

BBC. Cómo es de cerca el "sarcófago" gigante de Chernobyl, que encerrará los residuos nucleares más peligrosos del mundo por 100 años. Christian Borys. 5 de Juliol de 2018

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-38533187>

Wikipedia. Carburo de Wolframio. Juliol de 2018

https://es.wikipedia.org/wiki/Carburo_de_wolframio

Wikipedia. Aluminio. Juliol de 2018

<https://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>

Lenntech. Polonio. Juliol de 2018

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/po.htm>

Wikipedia. Polonio. Juliol de 2018.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Polonio>

Wikipedia. Radio. Juliol de 2018.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Radio_\(elemento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Radio_(elemento))

Wikipedia. Radio. Juliol de 2018.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Radioluminiscencia>

Wikipedia. Potasio. Juliol de 2018.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Potasio>

Wikipedia. Bertholletia excelsa. Agost de 2018

https://es.wikipedia.org/wiki/Bertholletia_excelsa

Lenntech. Uranio. Agost de 2018

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/u.htm>

Unidad de prevención de riesgos laborales. Radiaciones ionizantes. Agost de 2018.

<http://uprl.unizar.es/higiene/radiaciones.html>

Radiaciones ionizantes. Agost de 2018.

http://www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686_100000Radiaciones-ionizantes.pdf

Hospital Juan Cardona. Efectos de la radiación sobre el cuerpo humano radiación. Agost de 2018.

<http://www.hospitaljuancardona.es/blog/efectos-de-la-radiaci%C3%B3n-sobre-el-cuerpo-humano>

Organización mundial de la salud. Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de proteccion. Agost de 2018.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>

Eureka, el blog de Daniel Marín. La radiación y los viajes tripulados a Marte.

¿Barrera infranqueable o riesgo asumible?. Daniel Marín. Agost de 2018.

<https://danielmarin.naukas.com/2018/01/03/la-radiacion-y-los-viajes-tripulados-a-marte-barrera-infranqueable-o-riesgo-asumible/>

Eureka, el blog de Daniel Marín. La radiación en el espacio. Daniel Marín.

Agost de 2018.

<https://danielmarin.naukas.com/2011/03/23/la-radiacion-en-el-espacio/>

Eureka, el blog de Daniel Marín. La radiación en el espacio. Daniel Marín.

Agost de 2018.

<https://danielmarin.naukas.com/2013/01/17/como-proteger-a-los-astronautas-de-la-radiacion-en-misiones-interplanetarias/>

Wikipedia. Radiación cósmica. Noviembre de 2018.

https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_c%C3%B3smica

Treballs externs

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

AGUSTIÑO, Mario. (2019): "Els fonaments de la física moderna". *Radiació, estructura i interaccions de la matèria*.

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

HERRERA, Yasmila. (2014). *Antecedentes hormigón de alta densidad*.

ABAD, Marta. (2012). *Radiacions ionitzants*

KREJCI, FRANTISEK. (2010), *Series of Laboratory Exercises in the Physics of the Microworld*.

VÍCHA, Vladimir. *School experiments for elementary and high schools with jablotron MX-10 particle camera*.

Llibres

MERCADÉ, Joan et al. (2009). *Física 2 Batxillerat*. (Primera Edició). Madrid: Mc Grau Hill.

SANG, David et al. (2014). *Physics Coursebook*. (Segona Edició). Estats Units: Cmbridge University Press.

19. Índex de figures

Figura 1. Parts que conformen el detector Medipix. *Series of Laboratory Exercises in the Physics of the Microworld.*

Figura 2. Esquema de les capes que conformen el xip de lectura, així com les seves parts. *Series of Laboratory Exercises in the Physics of the Microworld.*

Figura 3. Hardware que conforma el detector de partícules. *Series of Laboratory Exercises in the Physics of the Microworld.*

Figura 4. Funcionament del llindar del detector. *Series of Laboratory Exercises in the Physics of the Microworld.*

Figura 5. Mostra simbòlica de la radiació que tenen els plàtans
http://www.mitosyfraudes.org/Nuke/going_bananas.html

Figura 6. Nous de Brasil.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazil_nuts.jpg

Figura 7. Potassi a la natura.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kalium.jpg>

Figura 8. Flama provocada per la reacció de potassi amb aigua.
<https://www.flickr.com/photos/37388341@N00/7898205>

Figura 9. Tungstè a la natura.
<https://definicion.de/tungsteno/>

Figura 10. Forma tridimensional adquirida pel carbur de wolframí.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%CE%91-WC-polyhedral.png>

Figura 11. Radi a la natura.
<https://elementos.org.es/radio>

Figura 12. Barreja de cobre i radi.
<http://www.luismonje.com/magicas-luminiscencias/>

Figura 13. Poloni a la natura
<https://elementos.org.es/polonio>

Figura 14. Representació del Poloni-210 que conté el tabac.
<http://estroncio-90.blogspot.com/2011/12/polonio-210-en-el-tabaco.html>

Figura 15. Urani a la natura.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/11/141031_finde_uranio_quimico_ponemico_finde_ac

Figura 16. Barres de combustible d'urani.

<https://www.foronuclear.org/es/component/joomgallery/archivo-fotografico/combustible/detalle-puntas-barras-combustible>

Figura 17. Tipus de radiació que es poden produir, en aquest cas, per un tub de raigs-X.

<http://radiologiatecnicaparatsid-health.blogspot.com/2015/04/radiacion-dispersa-en-los-servicios-de.html>

Figura 18. Manera en que es van repel·lir les partícules alfa durant l'experiment de Thompson.

<https://qmk-com-level.jimdo.com/teor%C3%ADa/experimento-de-rutherford/>

Fig. 19. Sarcòfag de formigó i acer construït sobre la central nuclear de Chernobil.

<https://es.euronews.com/2016/11/29/un-nuevo-sarcofago-sobre-la-central-de-chernobil-le-garantiza-cien-anos-de>

Figura 20. Penetració dels diferents tipus de radiació sobre diferents barreres.

<https://espaciociencia.com/como-funciona-un-reactor-nuclear/>

Figura 21. Penetració directa i indirecta de radiació a una cèl·lula animal.

<https://issste20n.wordpress.com/radiobiologia/>

Figura 22. Destrucció d'una hèlix d'ADN a causa de radiació.

<http://isanidad.com/73443/un-estudio-revela-como-la-radiacion-ionizante-dana-el-adn-y-cause-cancer/>

Figura 23. Tempesta solar a la superfície del Sol.

<https://mundo.sputniknews.com/espacio/201803171077087544-tormenta-solar-geomagnetica/>

Figura 24. Emissions de rajos còsmics que arriben a la Terra.

https://www.abc.es/ciencia/abci-origen-rayos-cosmicos-blazar-201807121700_noticia.html

Figura 25. Anomalia de l'Atlàntic Sud.

https://www.ecured.cu/Anomal%C3%ADa_del_Atl%C3%A1ntico_Sur

Figura 26. Prototip de nau destinada a evitar radiacions còsmiques.

<https://danielmarin.naukas.com/2013/01/17/como-proteger-a-los-astronautas-de-la-radiacion-en-misiones-interplanetarias/>

Figura 27. Disposició d'una nau que genera camps electrostàtics, amb les estructures que els generen.

<https://danielmarin.naukas.com/2013/01/17/como-proteger-a-los-astronautas-de-la-radiacion-en-misiones-interplanetarias/>

Figura 28. Màquina de raigs-X model XR 4.0 Phywe

Figura 29. Vista de la obtenció de la imatge nítida a través d'una matriu

Figura 30. Diferents materials utilitzats a la pràctica

Figura 31. Imatge del tronquet obtinguda a partir d'enfocar raigs-X entre el tronquet i el detector.

Figura 32. Imatge presa durant l'exposició a la Universitat de Barcelona
<https://home.cern/news/news/knowledge-sharing/summer-school-secondary-students-spain>

20. Annex I

Software de PixetPro

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

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

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

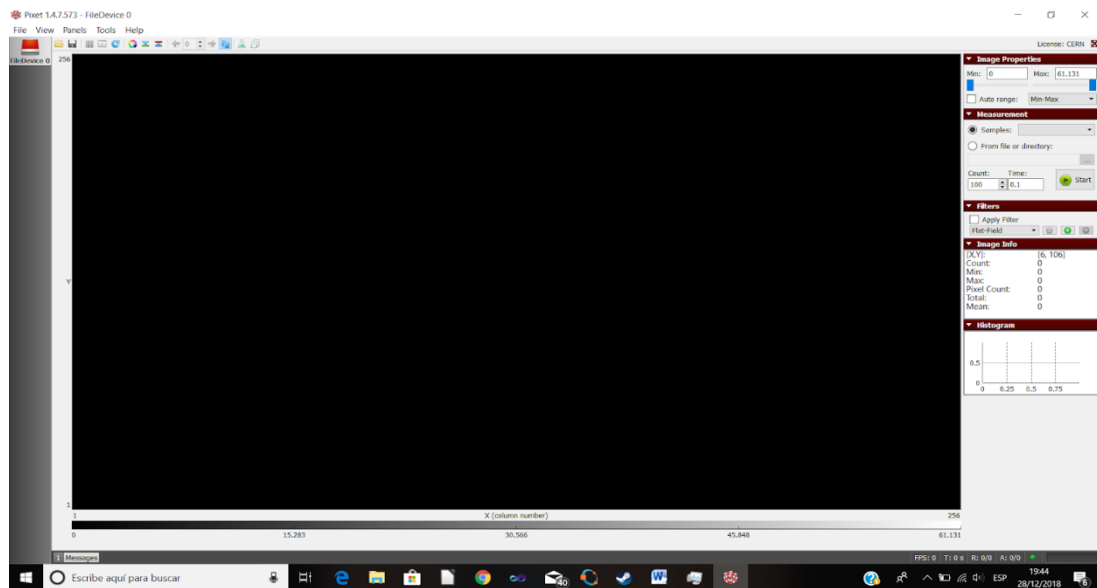
Pixet está escrito en lenguaje C++ y utiliza bibliotecas Qt multiplataforma.

Aplicaciones

Nosotros hemos usado el software para:

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

Ventana principal



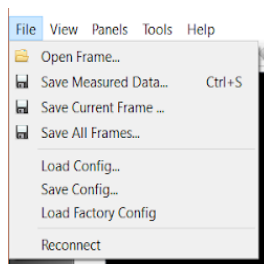
Esta ventana consta de 6 zonas bien diferenciadas:

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

La barra de menús

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

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



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

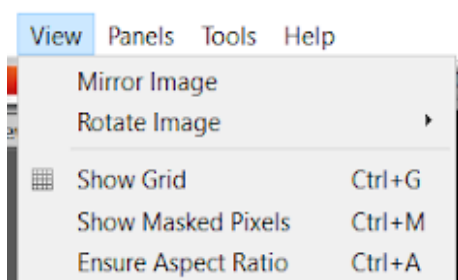
-**Mirror image** nos permitirá superponer una imagen igual a la que tenemos.

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

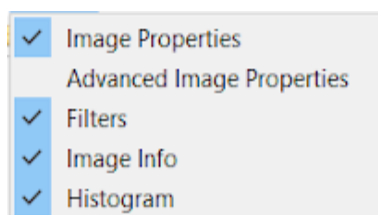
-**Show Grid** divide todos los píxeles rodeándolos con una línea gris.

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

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



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



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

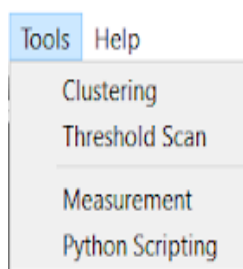
Clustering nos permitirá agrupar todos los píxeles ya sea por similitud o distancia, consiguiendo que la imagen se vea más suave o homogénea.

Threshold Scan te permite detectar alguna detección fuera de lugar.

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

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

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



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

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



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



Barra de herramientas

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



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

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

La quinta nos permite girar la imagen.

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

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

La novena nos permite pasar de frame en frame.

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

La undécima nos permite editar la configuración de los píxeles.

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

La barra de estado

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



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

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

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

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

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

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

Por último encontraremos la barra de progreso.

A la derecha encontramos:

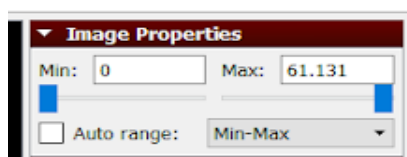
Image Properties:

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

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

5	1	0
3	4	1
5	6	2

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



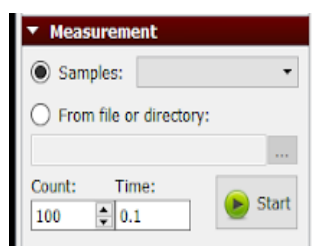
Measurement

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

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

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

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



Filters

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

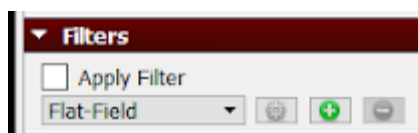


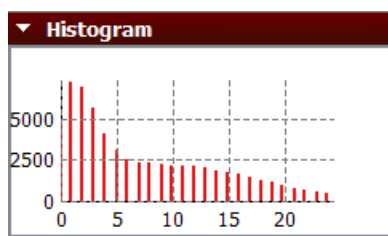
Image Info

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

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

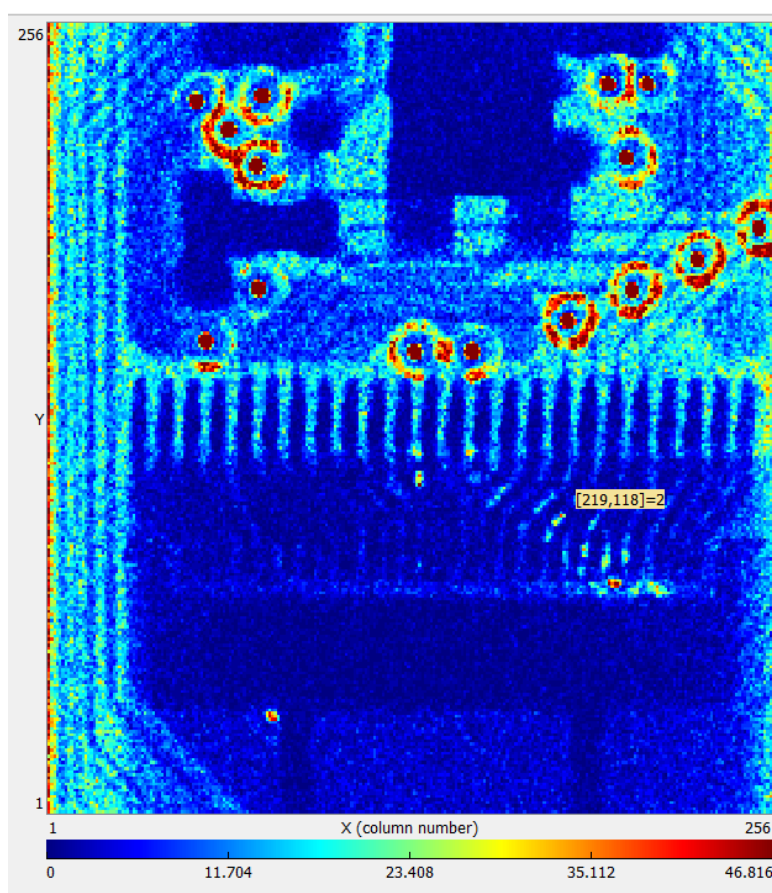
Histogram

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



Panel de imagen

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



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

21. Annex II

Els Fonaments de la Física Moderna

2.1.-Models de la llum:

Discrepància entre models: Model ondulatori i model corpuscular:

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

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

-Característiques dels models:

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

	mesurat per Thomas Young
--	--------------------------

-Fets que confirmen cadascun dels models:

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

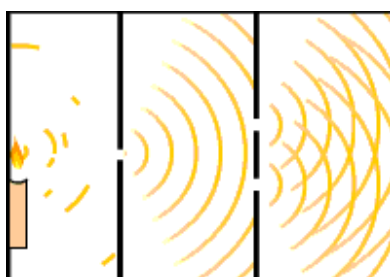
-Fets que deneguen la veracitat dels diferents models:

FETS QUE REFUTEN EL MODEL CORPUSCULAR	FETS QUE REFUTEN EL MODEL ONDULATORI
Si veritablement la llum fos un gran feix de partícules, aquesta hauria de perdre massa de forma considerable, aquest fet no és perceptible a la realitat.	La llum no presenta la capacitat de crear obstacles, pels quals desviarà la seva trajectòria, per mitjà de la difracció. Aquest fenomen és propi d'ones.
Si aquest model fos vàlid completament, els raigs de llum secants entre si haurien de desviar les seves respectives trajectòries, fet que no és donat a terme a la realitat.	La propagació de la llum en forma d'ones a través dels medis materials pot ser explicada com la vibració de les respectives partícules del medi al pas del raig de llum. En canvi, aquesta explicació no és acceptable pels raigs de llum provinents del Sol.
Segons aquest model, els processos de reflexió i refracció en un mateix sistema d'estudi són inexplicables, ja que no existia una explicació raonable per la qual alguns corpuscles rebotaven davant la superfície reflectora i altres seguien la seva trajectòria al segon medi.	
Quan Newton dedueix el procés de refracció a partir del model corpuscular, dedueix que el raig refractat s'allunya de la normal quan el raig passa d'un medi a un altre més dens, fet que a la realitat és totalment el contrari.	

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

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

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

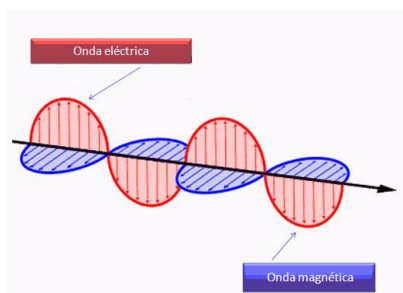


Imatge de l'experiment de la doble escletxa

2.2.-Electromagnetisme:**Inconvenients del model ondulatori:**

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

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



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

Així, Maxwell va aconseguir unir les ones electromagnètiques amb els fets lluminosos. La llum, a partir de la publicació de les lleis de Maxwell, va ser

considerada com a una ona electromagnètica, fet que semblava explicar la propagació d'aquesta, i que semblava reforçar la idea de l'existència de l'èter.

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

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

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

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

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

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

La física clàssica, en estar basada els principis del moviment establerts per Newton l'any 1687, estava dotada d'un caràcter altament mecànic, fet que va ser trencat definitivament amb la publicació de les lleis de Maxwell, ja que va suposar l'existència d'un nou fet físic, fet que no podia ser explicat per termes de matèria i moviment, aquest fet era la radiació.

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

paquets com a una partícula, observem que la llum, en ser absorbida o emesa per la matèria, ho fa com si estès constituïda per partícules, fet inexplicable per la teoria de Maxwell.

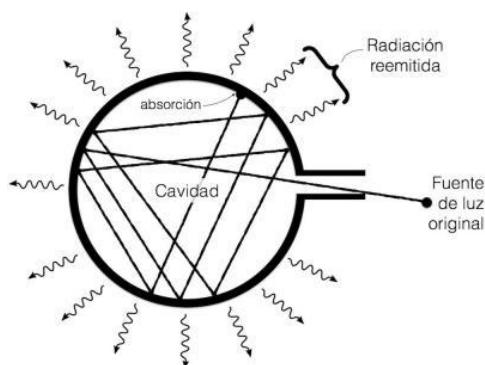
Aquest fet, més endavant seria conegut com a dualitat ona-corpúscle, o dualitat ona-partícula, que juntament amb els avenços en l'estudi de la radioactivitat i amb l'aparició de la Teoria de la Relativitat, van donar lloc al gran avenç físic del segle XX, el qual va originar la física moderna.

Radiació del cos negre:

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

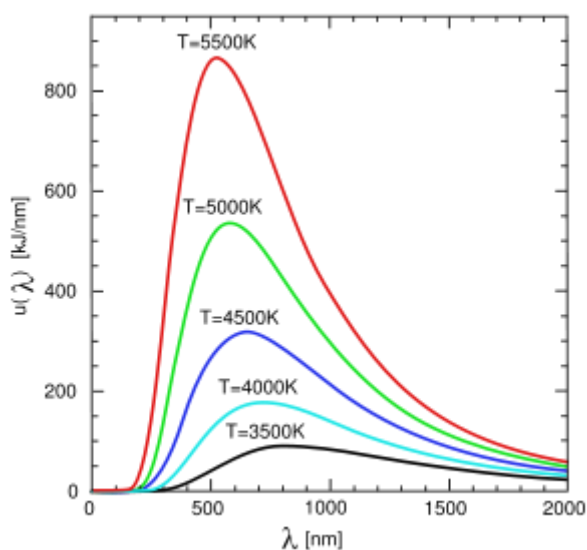
A principis del segle XX, les lleis de Maxwell havien creat un ingent interès en l'estudi de la radiació a tota la comunitat científica, pel que els científics van imposar, hipotèticament, l'existència d'un cos que absorbís tota la radiació que rebés, un cos ideal, el cos negre.

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



Imatge esquemàtica del cos negre experimental

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



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

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

L'any 1900, el físic alemany Max Planck, va deduir les corbes anteriorment esmentades teòricament. Per fer-ho, va suposar que l'energia radiada per un

cos era absorbida i emesa d'una manera discontinua, en forma de paquets, que aquest va anomenar quants. L'energia de cadascun d'aquests quants responia a l'equació següent

$$E=h\nu$$

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

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

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

L'efecte fotoelèctric

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

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

- Quan s'augmenta la intensitat de radiació augmenta la intensitat del corrent elèctric
- L'emissió fotoelectrònica és gairebé instantània, encara que la intensitat de radiació sigui molt petita

-L'emissió fotoelectrònica per a un metall determinat només té lloc si la freqüència de la radiació incident és més gran que un cert valor anomenat freqüència llindar ν_0 .

-Per a una radiació d'intensitat determinada, la intensitat del corrent augmentava fins a una intensitat de saturació, si augmentem el valor de potencial.

-Quan fem disminuir el valor de potencial fins a un valor negatiu, l'emissió fotoelectrònica disminueix fins a un valor fix, a partir del que ja no pot disminuir.

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

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

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

$$W_0 = h\nu_0$$

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

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + h\nu_0$$

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

$$p = E/c = h\nu/c$$

Dualitat ona-corpúscle:

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

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

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

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

Principi d'incertesa:

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

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

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

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

2.5.-Teoria de la Relativitat:

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

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

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

Els postulats de la teoria de la relativitat restringida:

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

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

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

Els seus postulats eren:

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

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

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

Aquesta expressió es pot matematitzar:

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

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

Les transformacions Einstein-Lorentz: Contracció de la longitud:

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

La denominada contracció Lorentz respondrà a la següent fórmula:

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

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

Equivalència entre massa i energia:

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

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

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

$$E = mc^2$$

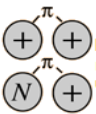
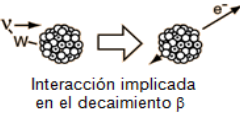
Així, la combinació de la física quàntica i la teoria de la relativitat, juntament amb els estudis sobre el comportament de la radioactivitat, van conformar els pilars de la física actual, ajudant-nos a progressar més que mai al nostre coneixement sobre l'univers.

22. Annex III

Introducción a la física nuclear

Fuerzas fundamentales:

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

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

Forces fonamentals

La interacción gravitatoria:

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

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

Explicación del tirón gravitatorio según los dos modelos:

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

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

Mientras elaboraba las ecuaciones de su teoría general de la relatividad, Einstein se dio cuenta de que los objetos masivos causaban una distorsión en el espacio-tiempo. Para concebir este concepto se hace símil a colocar un gran cuerpo en el centro de una membrana. El cuerpo presionaría hacia abajo en la

tela, causando que se forme un hoyuelo. Una canica rodada alrededor del borde giraría en espiral hacia el interior del cuerpo, tirada de la misma manera que la gravedad de un planeta atrae a las rocas en el espacio.

Interacció electromagnètica:

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

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

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

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

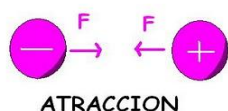
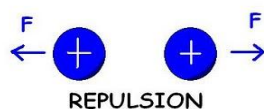


Figura 1

Repulsió i atracció entre càrregues elèctriques.

Interacción nuclear fuerte:

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

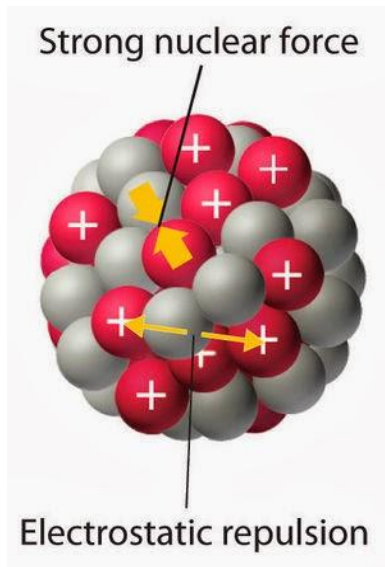


Diagrama del nucli d'un àtom amb les indicacions de les forces que estan presents (Repulsió electroestàtica i força nuclear forta)

Interacción nuclear debil:

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

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

Los quarks, que forman partículas compuestas como neutrones y protones, vienen en seis "sabores" (arriba, abajo, extraño, encanto, arriba y abajo) que dan a esas partículas compuestas sus propiedades. La interacción débil es única porque permite que los quarks intercambien su sabor por otro. El intercambio de esas propiedades está mediado por los bosones portadores de

fuerza. Por ejemplo, durante la desintegración beta menos , un quark down dentro de un neutrón se transforma en un quark up, convirtiendo así el neutrón en un protón y dando como resultado la emisión de un electrón y un antineutrino electrónico.



Radioactivitat a les partícules:

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

Radiación no ionizante:

En cuanto a su definición, se refiere a cualquier tipo de radiación electromagnética que no transporta suficientes cuantos de energía para ionizar átomos o moléculas, es decir, para eliminar completamente un electrón de un átomo o molécula. En lugar de producir iones cargados al pasar a través de la materia como la radiación ionizante, la radiación electromagnética no ionizante tiene suficiente energía solo para la excitación, el movimiento de un electrón hacia un estado de energía superior.

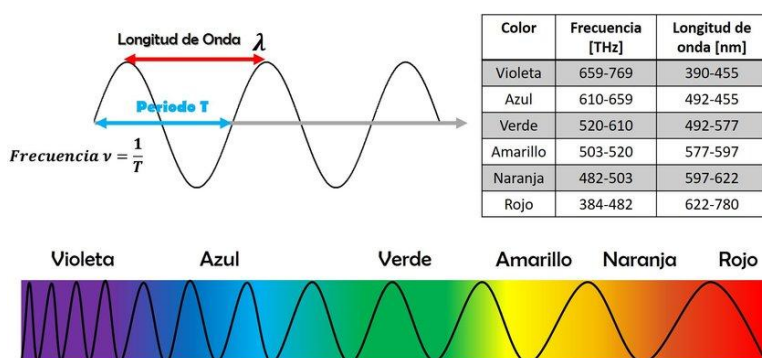
En cuanto a tipos existe una amplia variedad de radiaciones no ionizantes, pero las principales y con las que más convivimos en nuestro día a día son:

Ondas de radió:

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

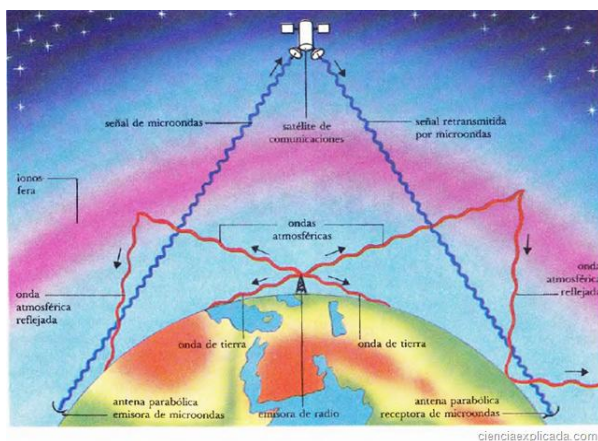
Luz del espectro visible (Luz visible):

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

**Microondas:**

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

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



Radiación ionizante:

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

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

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

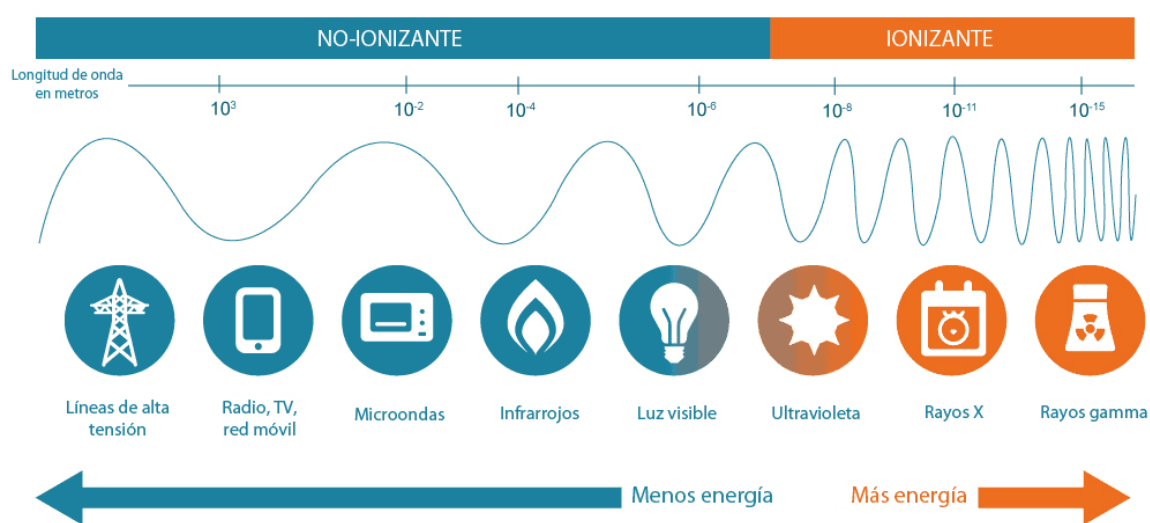


Diagrama de radiaciones según su energía y longitud de onda.

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

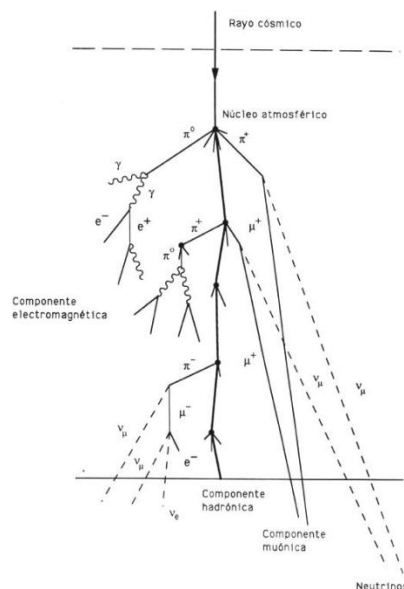
Radiación directamente ionizante:

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

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

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

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



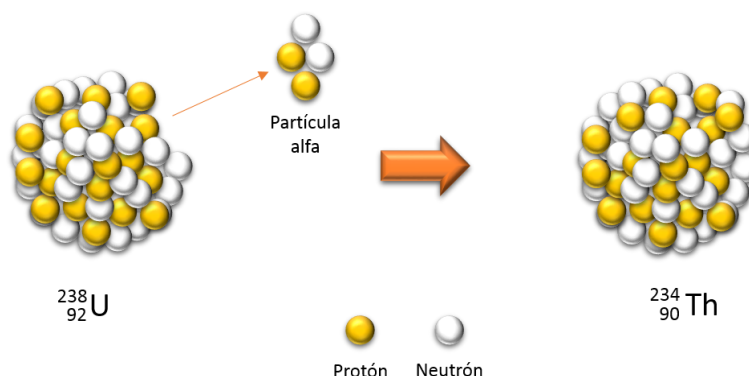
La radiación alfa:

La radiació alfa està constituïda per nuclis d'heli ionitzats (He^{2+}), ja que, no presenten electrons (e^-) llançats a una gran velocitat aproximadament $1/20c$ (on " c " és la velocitat de la llum).

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

Para la organización de radiación alfa se debe dar la desintegración alfa la cual es un tipo de desintegración radiactiva en la que un núcleo atómico emite una partícula alfa (núcleo de helio) y, por lo tanto, se transforma o 'descompone' en un núcleo atómico diferente, con un número de masa que se reduce en cuatro y un atómico número que se reduce en dos. La energía de las partículas alfa emitidas varía, con las partículas alfa de mayor energía emitidas desde núcleos más grandes, pero la mayoría de las partículas alfa tienen energías de entre 3 y 7 MeV (mega-electron-voltios), correspondientes a vidas medias extremadamente largas y extremadamente cortas.

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



Proceso de desintegración alfa en un núcleo de Uranio 238(U^{238}) que da lugar a una partícula alfa, y el cambio a un núcleo de Torio 234(Th^{234})

La radiación beta:

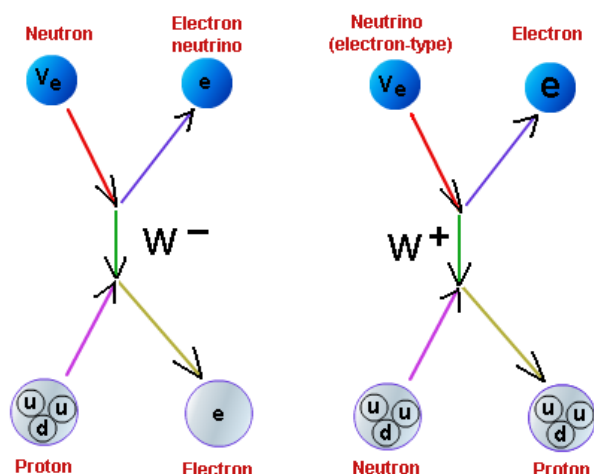
La radiación beta está constituida por partículas beta, que en este caso no son más que electrones a velocidades muy cercanas a las de la luz, aproximadamente $0,99c$ (donde "c" es la velocidad de la luz).

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

El proceso en el que un neutrón se transforma en protón y viceversa se denomina desintegración beta. La desintegración beta se produce cuando, en un núcleo con demasiados protones o demasiados neutrones, de forma que uno de los protones o neutrones se transforma en el otro, y para la emisión de estas partículas se ha de producir una reacción nuclear la cual puede ser de dos formas:

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

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



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

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

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

Núcleos cargados

Los núcleos cargados son característicos de los rayos cósmicos galácticos y los eventos de partículas solares y, a excepción de las partículas alfa, no tienen fuentes naturales en la Tierra. Sin embargo, en el espacio, los protones de muy alta energía, los núcleos de helio y los iones HZE pueden detenerse inicialmente mediante capas relativamente delgadas de protección, ropa o piel. Por otra parte, la interacción resultante generará radiación secundaria. En caso de que colisionara con nuestro tejido biológico, si solo un átomo de tejido es desplazado por un protón energético, la colisión causará más interacciones en el cuerpo. Y a este suceso se le denomina transferencia de energía lineal (LET).

Para tener una idea de este suceso LET se puede visualizar como una bola de billar que golpea a otra conservando el impulso inicial, enviando así a ambas con la energía de la primera bola dividida entre las dos de manera desigual. Pues lo mismo pasa cuando un núcleo cargado golpea un núcleo de movimiento relativamente lento de un objeto en el espacio, se produce LET y

las colisiones liberan neutrones, partículas alfa, protones de baja energía y otros núcleos que contribuyen a la dosis total absorbida por el tejido.

Positrones y otros tipos de antimateria:

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

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

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

Radiación indirectamente ionizante:

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

Radiació gamma:

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

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

La descomposición gamma también puede seguir reacciones nucleares como la captura de neutrones, la fisión nuclear o la fusión nuclear. La desintegración gamma es también un modo de relajación de muchos estados excitados de núcleos atómicos que siguen a otros tipos de desintegración radiactiva, como la desintegración beta, siempre que estos estados posean el componente necesario del espín nuclear.

