



# *RADIOACTIVITAT*



TREBALL DE RECERCA 11/03/2022  
DAVID CARRILLO, UNAI MOLEÓN,  
GERARD COSTA, UNAI CASTILLO



# **ÍNDEX**

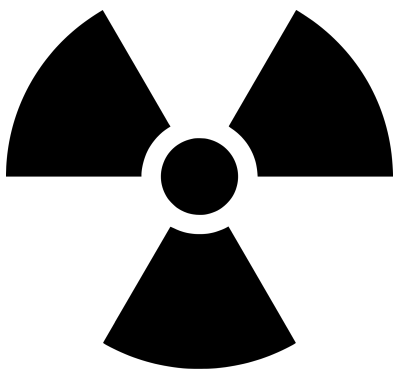
|                                                       |        |
|-------------------------------------------------------|--------|
| 1. Introducció.....                                   | pàg 3  |
| 2. Radioactivitat.....                                | pàg 5  |
| 2.1 Tipus de radiacions.....                          | pàg 5  |
| 2.2 Descobriment i evolució de la Radioactivitat..... | pàg 7  |
| 2.3 Marie Curie.....                                  | pàg 8  |
| 2.4 Unitats de mesura.....                            | pàg 8  |
| 3. El Timepix/Minipix.....                            | pàg 9  |
| 3.1 El projecte ADMIRA.....                           | pàg 9  |
| 3.2 Com funciona exactament el Timepix?.....          | pàg 10 |
| 4. PART PRÀCTICA: Mesures amb el Minipix.....         | pàg 11 |
| 4.1 2a part pràctica.....                             | pàg 15 |
| 5. Conclusió.....                                     | pàg 20 |
| 6. Bibliografia.....                                  | pàg 22 |

## 1. Introducció

Quan parlem de radioactivitat parlem del fenomen físic, natural i espontani en el qual àtoms inestables d'un element irradien l'excès d'energia del nucli. Va ser un estudi portat per Marie Curie, però tot va començar amb Henri Becquerel.

Al ser nou i difícil d'entendre, la radioactivitat és un tema que sembla complicat. Encara així, mantenim un fort interès perquè se'ns ha presentat una oportunitat d'investigar molt bo. Això és gràcies al projecte ADMIRA, el qual ens dona la possibilitat de tractar amb un MiniPix per calcular i treballar amb la radioactivitat.

El tema de la radioactivitat és un tema que ens sembla interessant i per això l'hem escollit. Al no haver-ho treballat mai a classe, volíem provar i treure profit.



TimePix

Una vegada tenim la possibilitat d'utilitzar el Timepix, sorgeixen preguntes com: *Què és i com funciona?*.

Per descobrir- ho, vam haver d'informar-nos sobre la descarga i funcionament del Pixet-Pro, aplicació necessària per fer servir el Minipix. Una vegada acabat aquest llarg procés, es pot començar a utilitzar l'aparell seguint les instruccions.

Així, es van poder fer totes les lectures possibles per complementar la nostra recerca.

## **2. Radioactivitat**

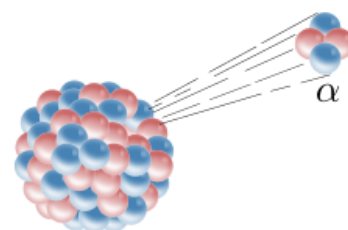
Durant el procés radioactiu, els àtoms no només emeten l'energia acumulada al nucli. També, canvien, o millor dit, decauen, a àtoms d'altres elements. Això és degut a que guanyen, perden o transformen protons i neutrons.

Aleshores, tot allò anomenat radioactiu, emet radiacions amb la propietat d'ionitzar gasos, produir fluorescència, impressionar plaques fotogràfiques...

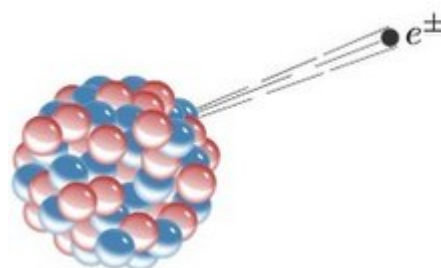
### **2.1 Tipus de radioacions**

Aquestes radiacions es poden dividir en 3 grans tipus ben diferenciats segons 3 tipus de partícules. Aquests tenen una naturalesa i comportament molt diferents.

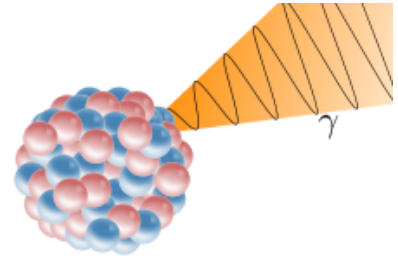
- radiació alfa: és formada per nuclis d'He (heli). En emetre aquesta radiació, el nucli perd dos neutrons i dos protons. Interacciona fortament amb la matèria perquè es tracta d'una partícula positiva (+2e).



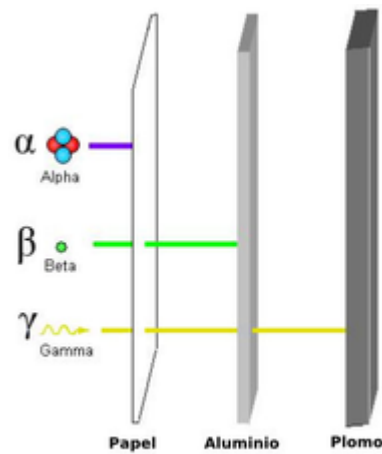
- radiació beta: aquesta, en canvi, és negativa. És un tipus de radiació que emeten alguns elements inestables a través de la *desintegració* beta. No és monoenergètica, és a dir, té un rang d'energia continu des de zero fins a un valor màxim.



- radiació gamma: en quant a electromagnetisme, és la més energètica. Els raigs gamma són radiacions d'origen nuclear que es produeixen per la desexcitació d'un nucleó d'un nivell excitat.



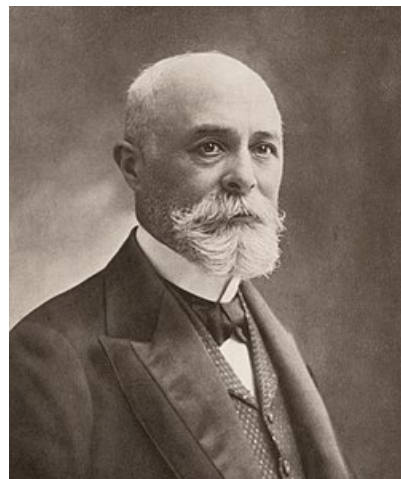
Les tres radiacions es poden també diferenciar molt bé amb la seva penetració. La següent imatge ho representa perfectament:



## **2.2 Descobriment i evolució de la Radioactivitat**

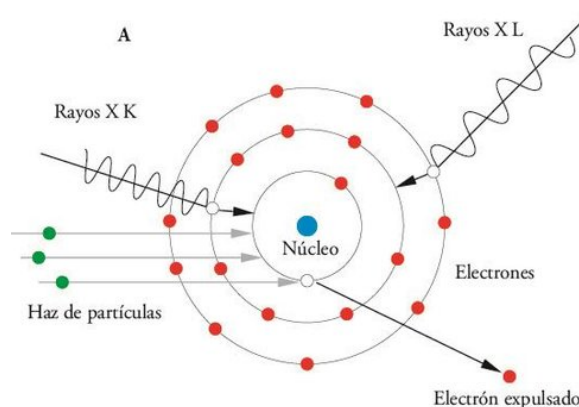
Tot va començar l'any 1895, amb el descobriment dels raigs X per Wilhelm Röntgen. Però, anys més tard, es van adonar que la radioactivitat era més difícil i complexa que els raigs X.

L'any següent, el 1896, Henri Bequerel estava estudiant la fosforescència. Va ser un físic francès que, quan va posar una mostra d'urani damunt d'una fotografia, la imatge es tacava de "rajos invisibles". Durant aquest estudi, va pensar que la radiació que es produïa als tubs de raigs catòdics en ser exposats als raigs X podia estar relacionada amb la fosforescència. Aquest fou el primer pas en l'estudi de les radiacions.



Més tard, Ernest Rutherford fou el primer a adonar-se que totes les formes de desintegració segueixen aproximadament la mateixa fórmula exponencial. Es va trobar que un camp elèctric o magnètic separava les radiacions en tres feixos diferents, que van batejar com  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) i  $\gamma$  (gamma). Encara que són els tipus de desintegració radioactiva més comuns, se'n van descobrir d'altres tipus.

Poc després del descobriment del neutró el 1932, Enrico Fermi va trobar que algunes reaccions de desintegració emeten neutrons. D'altra banda, es va observar l'emissió de protons en alguns elements. Després del descobriment dels positrons als raigs còsmics es va trobar que el mateix procés es produïa a l'emissió beta, que podia produir emissió de positrons i de manera anàloga a la ja coneguda emissió d'electrons.



## **2.3 Marie Curie**

Marie Curie va ser una física, matemàtica nascuda a Polònia pionera en el camp de la radioactivitat. Va rebre el Premi Nobel de Física el 1903 gràcies als seus descobriments en el camp de radioactivitat. A l'any 1911 va rebre el Premi Nobel de la Química per l'aïllament del radi pur. Va ser la primera a emprar el terme *radioactivitat*

## **2.4 Unitats de mesura**

Quan calculem i/o mesurem radioactivitat, s'utilitza majoritàriament la Unitat de Mesura Internacional. En aquest cas, es tracta del Bequerel (Bq), que prové obviament del seu primer descobridor.

També va existir el Curie (Ci), que equival a uns  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

### **3. El Timepix/Minipix**

Timepix és un xip de lectura de partícules que permet fer un recompte de partícules individuals (o seguiment de partícules), i de baixa potència, desenvolupat al CERN. És utilitzat a molts projectes relacionats amb la NASA i el CERN.



#### **3.1 El projecte ADMIRA**

Aquest projecte, el qual les seves sigles representen Activitats amb Detectors Medipix per Investigar la Radiació a l'aula, pretén crear una xarxa d'instituts al voltant de l'ús de Detectors Timepix dissenyats al CERN. L'objectiu principal és acostumar als alumnes de secundària a la investigació que es fa en Universitats i Centres de Recerca.

És gràcies a aquesta iniciativa que podem tenir contacte amb el Minipix. Amb aquest aparell serem capaços de calcular la radioactivitat ja sigui de la classe o fonts radioactives d'ús quotidià.

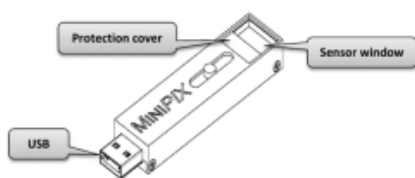


### **3.2 Com funciona exactament el Timepix?**

El Minipix utilitza un detector que és Híbrid, és a dir, té més d'una tecnologia.

El detector de píxels híbrid consisteix en dues capes.

Una part és un material semi-conductor pixelat, on la radiació ionitzada diposita certes quantitats d'energia en funció del camí i el moment de les partícules mentre travessa el material. L'altra part, el sensor de MiniPix conté 256x256 píxels amb una superfície de 55  $\mu\text{m}^2$  cada un.



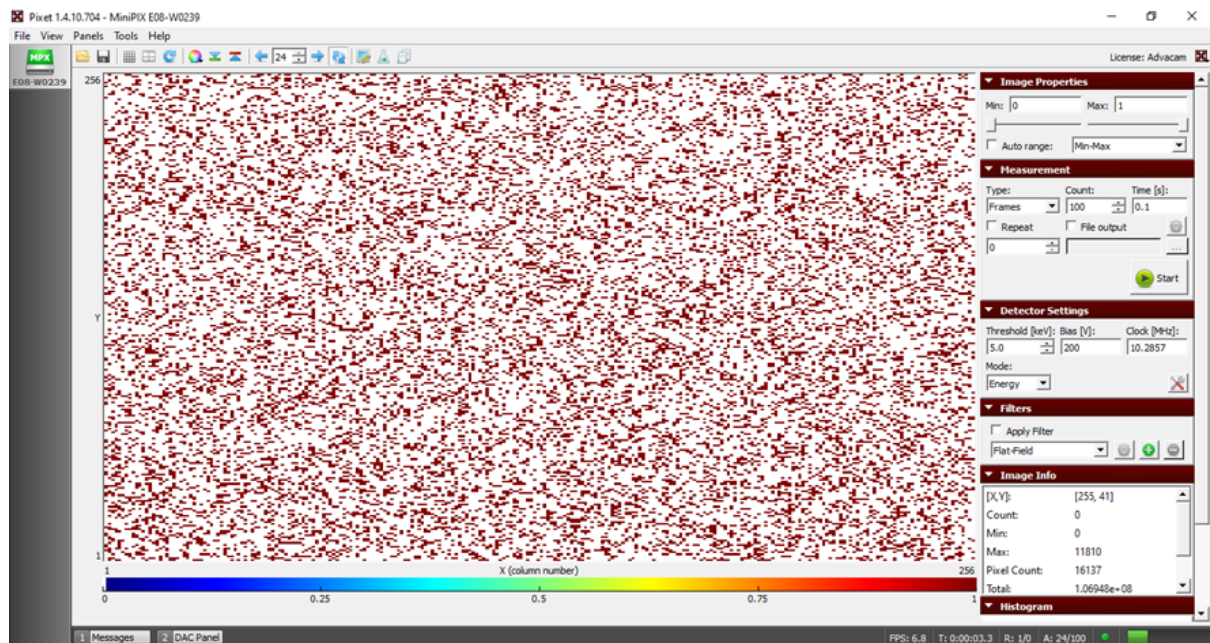
El seu funcionament és, en part, gràcies a un programa anomenat Pixet-Pro. Aquest mostra els resultats de les mesures. El Minipix pot funcionar amb aquesta aplicació perquè es pot connectar a un ordinador per USB.

Aquest programa ens permet configurar la mesura que volem realitzar, ja sigui el llindar, el nombre de fotogrames, el temps de cada fotograma, el mode de mesura... Totes aquestes configuracions estan explicades al Manual de PixetPro. Amb aquest programa, es poden veure representats cada un dels píxels del sensor en una matriu 256x256. Aquests píxels canviaran de color si una partícula impacta amb el píxel del sensor al qual representa. Depenen de l'energia que tingui la partícula, el color del píxel serà diferent. Totes les mesures i la configuració poden ser guardades i obertes amb el programa posteriorment. El programa també té una opció de recompte i un histograma que es pot consultar.

## 4. PART PRÀCTICA: Mesures amb el Minipix

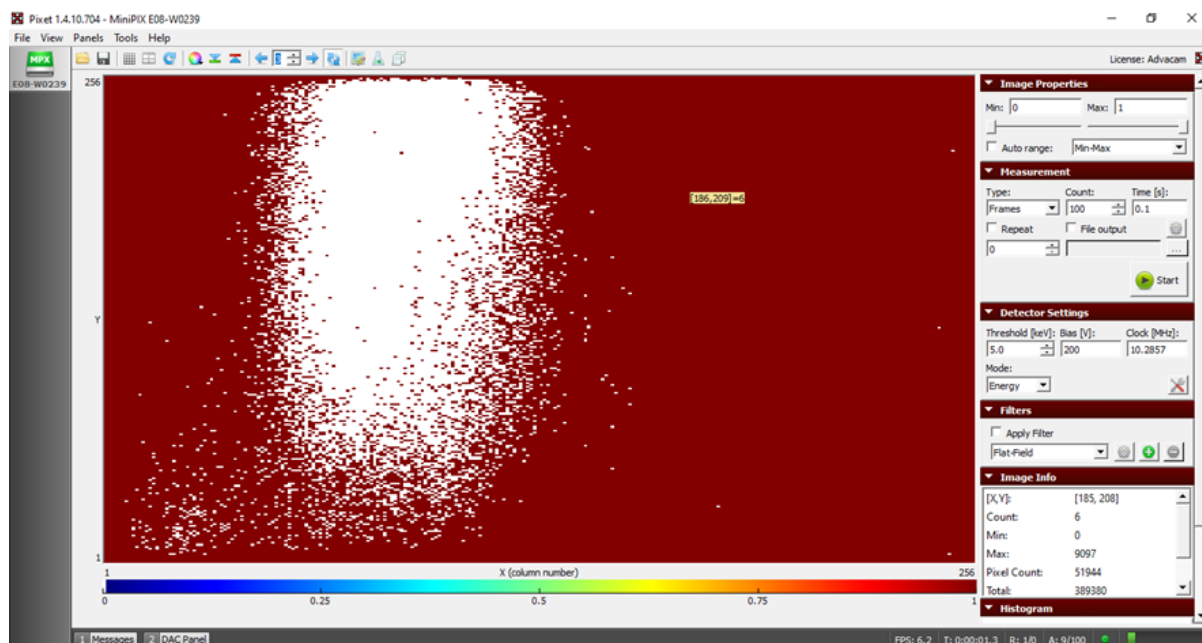
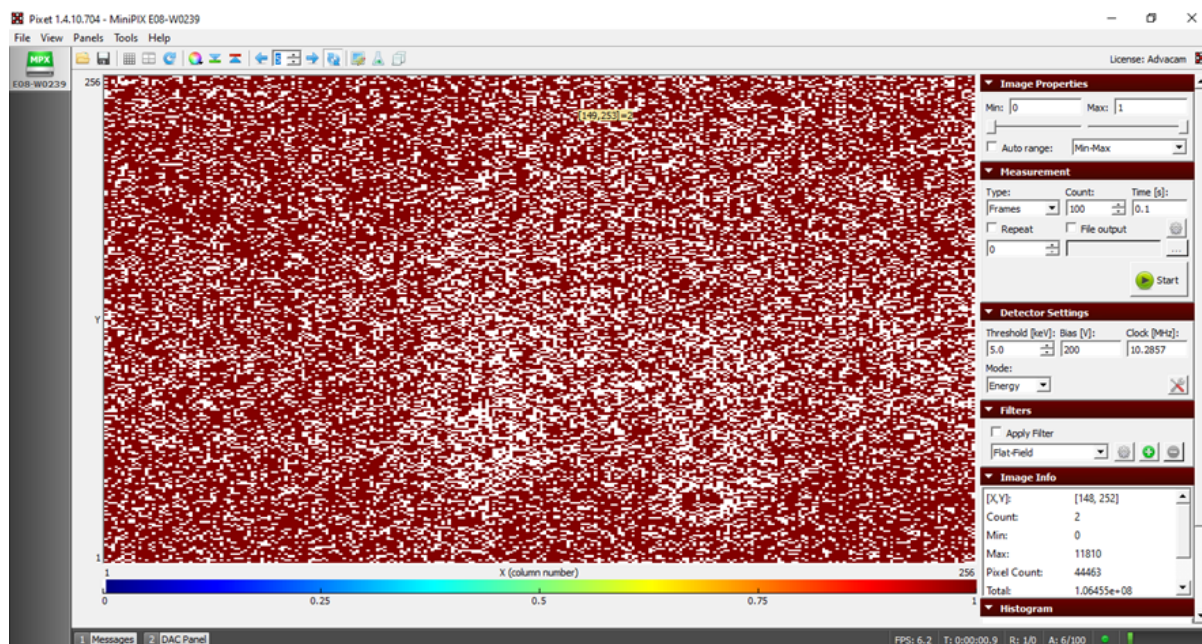
S'ha fet una recerca de diferents objectes que contenen radioactivitat i els hem posat en pràctica amb el Minipix:

- La primera prova va ser amb la pell d'un plàtan.



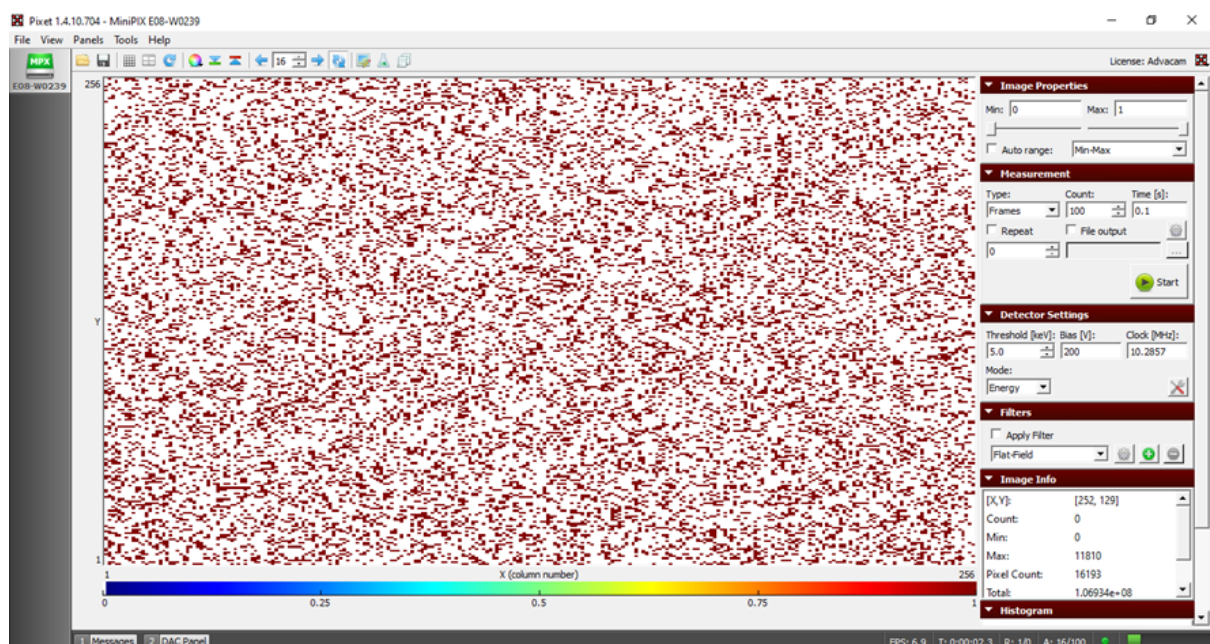
El primer que podem observar és que es troben moltes mostres de radiació beta i gamma (que són les línies més corbes i rectes) i poc d'alfa (que són les més arrodonides). En aquest primer experiment, investigant, hem arribat a la conclusió de que, el que fa l'aparell és rebre impactes de les partícules alfa, beta i gamma. Quan aquestes partícules surten disparades és el que anomenem radiació, el qual fa possible la llum artificial, entre d'altres coses d'ús quotidià.

- Després, vam trobar que hi ha alguns collars que emeten certa radiactivitat. Ho vam provar:



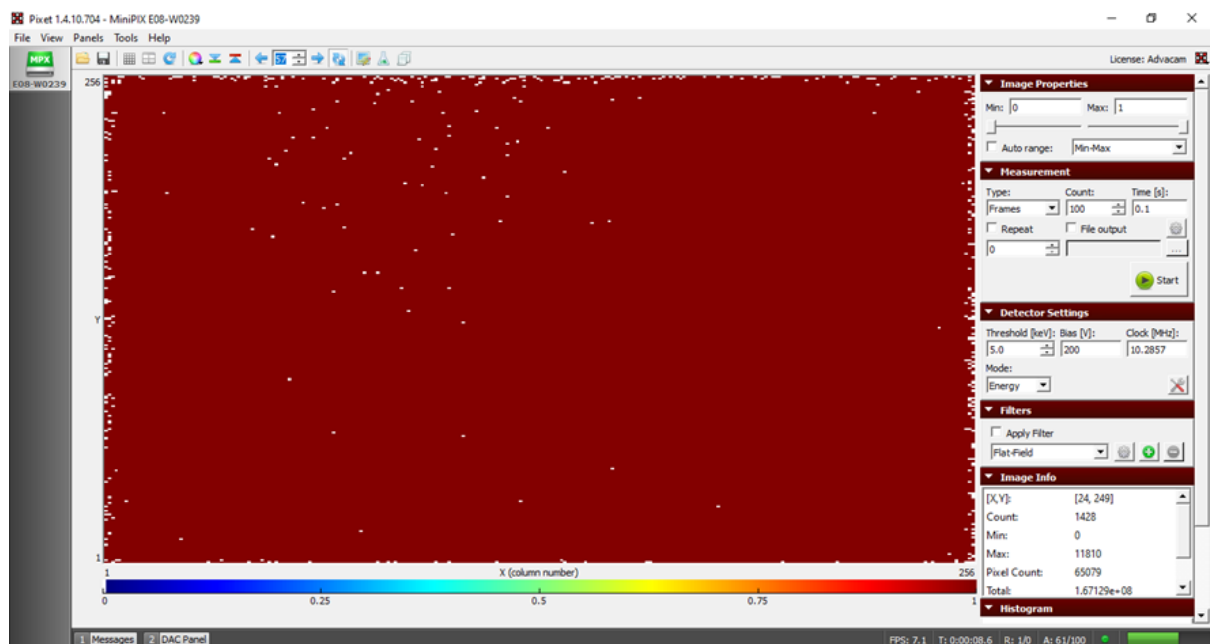
Aquesta vegada, les radiacions en els primers fotogrames eren més espaiades i trobàvem moltes de partícules alfa. En els següents fotogrames vam comprovar que van impactar moltes partícules, excepte en una zona en concret. Tota la zona vermella són probablement alfa perquè si fosin gamma o beta estarien més espaiades lineadament. I la zona buida es deu a que era una part que no tenia contacte amb les radiacions del collar.

- La tercera prova va ser amb una llum fosforescent de la nostra classe:

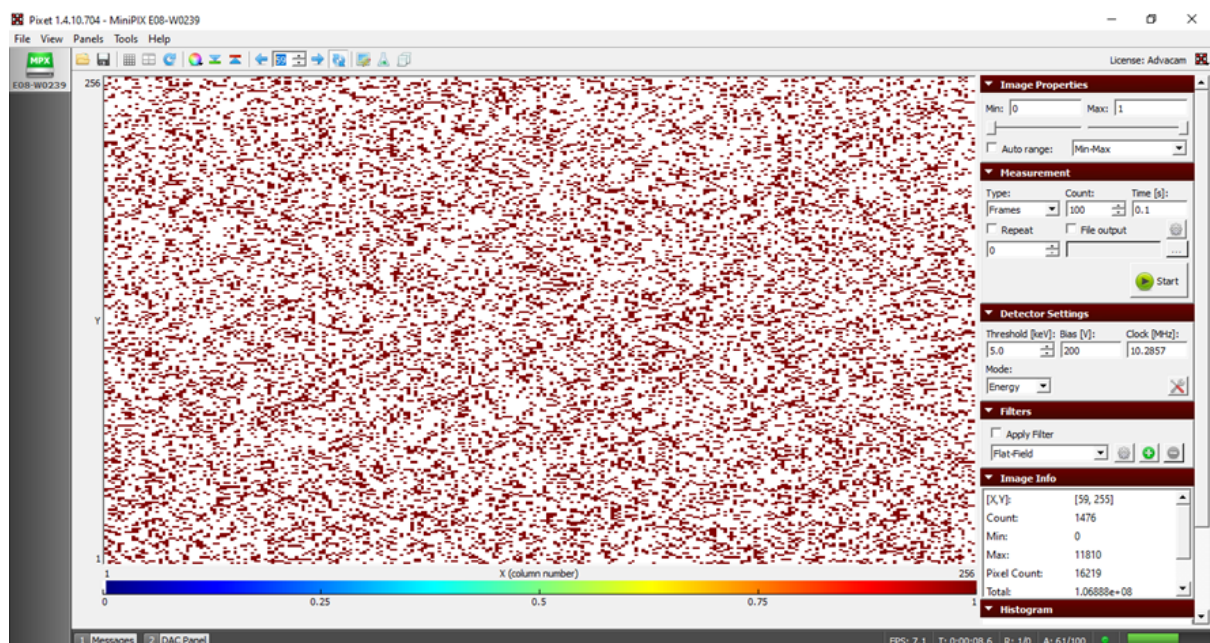


En aquest exemple ens vam adonar de que les radiacions eren més espaiades. Encara i així, les lectures eren més freqüents perquè es mantienien durant molts dels fotogrames.

- La quarta i última de les proves experimentals va ser amb un dels radiadors de la nostre classe encès. És aquest:



En aquesta situació, vam poder veure clarament que els radiadors emeten una radiació molt abundant. Però, hi ha parts del radiadors on les radiacions són més espaiades i menys freqüents:



## 4.1 2a Part pràctica

El quadern d'informació del projecte ADMIRA ens deia que fèssim una taula de les partícules alfa, beta i gamma i algunes de les seves constants. Ho vam fer amb les mostres de la cadena de plata. Per a la taula de les alfa, ens demanava l'energia en KeV (que és com ho calcula el programa) i en J; la velocitat calculada amb la fórmula relativista i la clàssica; la relació velocitat (relativista i clàssica)/velocitat de la llum, la desviació que hi ha entre la relativista i clàssica; i la longitud d'ona.

Vam ser capaços de introduir fórmules gràcies a l'Excel:

|    | A               | B           | C           | D          | E          | F          |
|----|-----------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1  | PARTÍCULES ALFA |             |             |            |            |            |
| 2  | Magnitud        | Alfa 1      | Alfa 2      | Alfa 3     | Alfa 4     | Alfa 5     |
| 3  | Ek (keV)        | 6788        | 7989        | 5889       | 6593       | 5146       |
| 4  | Ek (J)          | 1,08756E-12 | 1,27998E-12 | 9,4352E-13 | 1,0563E-12 | 8,2448E-13 |
| 5  | masa (kg)       | 6,64E-27    | 6,64E-27    | 6,64E-27   | 6,64E-27   | 6,64E-27   |
| 6  | c (m/s)         | 3,00E+08    | 3,00E+08    | 3,00E+08   | 3,00E+08   | 3,00E+08   |
| 7  | v (ms-1)relat   | 1,81E+07    | 1,96E+07    | 1,68E+07   | 1,78E+07   | 1,57E+07   |
| 8  | v (ms-1)class   | 18093658,7  | 19629158,77 | 16852962,5 | 17831875,2 | 15753982,8 |
| 9  | v/c (relat)     | 6,03E-02    | 6,54E-02    | 5,61E-02   | 5,94E-02   | 5,25E-02   |
| 10 | v/c (class)     | 6,04E-02    | 6,55E-02    | 5,62E-02   | 5,95E-02   | 5,25E-02   |
| 11 | Desviació (%)   | 0,136538804 | 0,16068582  | 0,11846161 | 0,13261787 | 0,10351991 |
| 12 | Longitud d'ona  | 1,82489E-11 | 1,55055E-11 | 2,1035E-11 | 1,8789E-11 | 2,4072E-11 |
| 13 |                 |             |             |            |            |            |

- Primer l'energia en KeV (depenent d'aquesta variant les altres magnituds):

Aquí, vam haver de buscar quina era la quantitat d'energia que tenen les partícules alfa. Vam investigar que era un interval entre 4000KeV i 8000KeV.

Llavors, al programa vam buscar partícules

alfa que compleixin aquestes condicions. I

ens vam adonar que, efectivament, eren les

que tenien formes més esfèriques.

| Image Info |          |
|------------|----------|
| [X,Y]:     | [169,85] |
| Count:     | 7988     |

- Per a l'energia en J, vam haver de buscar el factor de conversió de KeV a J per posar la fórmula a l'excel:

$$=B3*1,60217733E-16$$

|   | A         | B           |
|---|-----------|-------------|
| 1 | PAR       |             |
| 2 | Magnitud  | Alfa 1      |
| 3 | Ek (keV)  | 6788        |
| 4 | Ek (J)    | 1,08756E-12 |
| 5 | masa (kg) | 6,64E-27    |

- Per a la velocitat, primer vam fer la de la fórmula relativista, utilitzant comands de l'Excel que vam aprendre durant el procés:

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

$$=B6*(1-(1/(1+(B4/($B5*$B6^2))))^2))^(1/2)$$

|   | A             | B           |
|---|---------------|-------------|
| 1 | PAR           |             |
| 2 | Magnitud      | Alfa 1      |
| 3 | Ek (keV)      | 6788        |
| 4 | Ek (J)        | 1,08756E-12 |
| 5 | masa (kg)     | 6,64E-27    |
| 6 | c (m/s)       | 3,00E+08    |
| 7 | v (ms-1)relat | 1,81E+07    |

En aquesta fórmula vam haver de buscar la masa de les partícules alfa, que només és la suma de les mases de dos protons i dos electrons, ja que està format per això. També vam haver de buscar la velocitat de la llum ( $c=2,99E+8$  m/s).

- Després, vam utilitzar la fórmula clàssica de la velocitat gràcies a l'energia cinètica clàssica:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{Ek}{m}}$$

$$=(2*B4/$B5)^(1/2)$$

|   | A             | B           |
|---|---------------|-------------|
| 1 | PAR           |             |
| 2 | Magnitud      | Alfa 1      |
| 3 | Ek (keV)      | 6788        |
| 4 | Ek (J)        | 1,08756E-12 |
| 5 | masa (kg)     | 6,64E-27    |
| 6 | c (m/s)       | 3,00E+08    |
| 7 | v (ms-1)relat | 1,81E+07    |
| 8 | v (ms-1)class | 18093658,7  |

- Després, en la relació velocitat/velocitat de la llum, tant de la relativista com la clàssica, només vam haver de dividir-les:

=B8/\$B6

=B7/\$B6

- En quant a la desviació que hi ha entre les dues, trobem aquesta fórmula:

$$\text{Desviació} = 100 \cdot \frac{(V_{\text{class}} - V_{\text{relat}})}{V_{\text{relat}}}$$

=100\*((B8-B7)/B7)

|    | A             | B           |
|----|---------------|-------------|
| 1  | PAR           |             |
| 2  | Magnitud      | Alfa 1      |
| 3  | Ek (keV)      | 6788        |
| 4  | Ek (J)        | 1,08756E-12 |
| 5  | masa (kg)     | 6,64E-27    |
| 6  | c (m/s)       | 3,00E+08    |
| 7  | v (ms-1)relat | 1,81E+07    |
| 8  | v (ms-1)class | 18093658,7  |
| 9  | v/c (relat)   | 0,06027014  |
| 10 | v/c (class)   | 0,06035243  |
| 11 | Desviació (%) | 0,136538804 |

- I, per últim, vam calcular la longitud d'ona de cada partícula alfa gràcies a la següent fórmula:

$$L d'ona = \frac{h \cdot c}{E}$$

$$h = 6,62E - 32$$

=(6,62E-32\*\$B6)/B4

|    | A              | B           |
|----|----------------|-------------|
| 1  | PAR            |             |
| 2  | Magnitud       | Alfa 1      |
| 3  | Ek (keV)       | 6788        |
| 4  | Ek (J)         | 1,08756E-12 |
| 5  | masa (kg)      | 6,64E-27    |
| 6  | c (m/s)        | 3,00E+08    |
| 7  | v (ms-1)relat  | 1,81E+07    |
| 8  | v (ms-1)class  | 18093658,7  |
| 9  | v/c (relat)    | 0,06027014  |
| 10 | v/c (class)    | 0,06035243  |
| 11 | Desviació (%)  | 0,136538804 |
| 12 | Longitud d'ona | 1,82489E-11 |

Una vegada acabades aquestes fòrmules, vam introduir 5 energies diferents de 5 partícules alfa diferents que vam trobar en la lectura de radiacions de la cadena de plata. Llavors, els valors es van resoldre.

Després, vam fer el mateix amb les partícules beta:

| H               | I          | J          | K          | L          | M          |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| PARTÍCULES BETA |            |            |            |            |            |
| Magnitud        | Beta 1     | Beta 2     | Beta 3     | Beta 4     | Beta 5     |
| Ek (keV)        | 500        | 29         | 487        | 201        | 287        |
| Ek (J)          | 8,0109E-14 | 4,6463E-15 | 7,8026E-14 | 3,2204E-14 | 4,5982E-14 |
| masa (kg)       | 9,11E-31   | 9,11E-31   | 9,11E-31   | 9,11E-31   | 9,11E-31   |
| c (m/s)         | 3,00E+08   | 3,00E+08   | 3,00E+08   | 3,00E+08   | 3,00E+08   |
| v (ms-1)relat   | 4,91E+06   | 1,18E+06   | 4,85E+06   | 3,11E+06   | 3,72E+06   |
| v (ms-1)class   | 4910666,94 | 1182645,21 | 4846407,83 | 3113533,23 | 3720458,17 |
| v/c (relat)     | 0,01637816 | 0,00394476 | 0,01616389 | 0,01038495 | 0,01240908 |
| v/c (class)     | 0,01637981 | 0,00394478 | 0,01616547 | 0,01038537 | 0,01240980 |
| Desviació (%)   | 0,0100609  | 0,00058355 | 0,00979932 | 0,00404455 | 0,00577503 |
| Longitud d'ona  | 2,4775E-10 | 4,2715E-09 | 2,5436E-10 | 6,1629E-10 | 4,3162E-10 |

És exactament igual que les de les partícules alfa, és a dir, les fòrmules les podíem mantenir perfectament. Exceptuant la masa de la partícula, que és bastant més petita la beta. I també les energies són considerablement més petites. Segons les xarxes, no pugen molt més de 500 KeV. A la vegada, vam adonar-nos que les partícules beta eren representades al programa com a línies gruixudes i verticals.

Per últim, vam fer la taula de les gamma, que era bastant diferent a les altres dues:

|    | A                | B           | C           | D          | E          | F          |
|----|------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 13 |                  |             |             |            |            |            |
| 14 | PARTÍCULES GAMMA |             |             |            |            |            |
| 15 | Magnitud         | Gamma 1     | Gamma 2     | Gamma 3    | Gamma 4    | Gamma 5    |
| 16 | Ek (keV)         | 11810       | 4000        | 25000      | 140        | 4665       |
| 17 | Ek (J)           | 1,89217E-12 | 6,40871E-13 | 4,0054E-12 | 2,243E-14  | 7,4742E-13 |
| 18 | masa (kg)        | 9,11E-31    | 9,11E-31    | 9,11E-31   | 9,11E-31   | 9,11E-31   |
| 19 | c (m/s)          | 3,00E+08    | 3,00E+08    | 3,00E+08   | 3,00E+08   | 3,00E+08   |
| 20 | f (Hz)           | 2,86E+21    | 9,68E+20    | 6,05E+21   | 3,39E+19   | 1,13E+21   |
| 21 | Longitud d'ona   | 1,04889E-11 | 3,09684E-11 | 4,9549E-12 | 8,8481E-10 | 2,6554E-11 |
| 22 | p (kg*m/s)       | 6,31E-21    | 2,14E-21    | 1,34E-20   | 7,48E-23   | 2,49E-21   |

- El factor de conversió de KeV a J es mantenia igual.
- La masa vam haver de fer una recerca fins trobar que era la mateixa que la d'un electró.
- La freqüència la vam calcular amb la següent fórmula:

$$f = \frac{E}{h} \quad h = 6,62E - 34 \quad = B17/6,62E-34$$

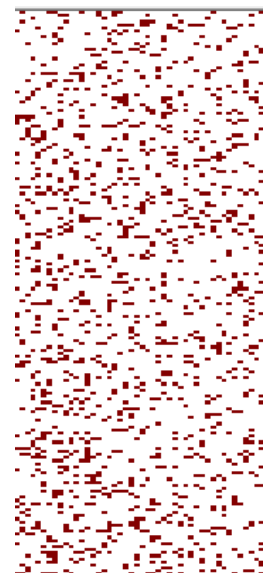
- La longitud d'ona era calculada amb la mateixa fórmula que en les altres taules.

En aquesta lectura, vam poder confirmar que els raigs gamma, en el programa, eren representats amb línies corbes i fines.

## **5. Conclusió**

Després d'haver analitzat les lectures que vam fer al programa Pixet-Pro gràcies al Minipix, vam arribar a diverses conclusions.

Primer de tot, vam poder confirmar el que ens deia el manual sobre com representa el programa Pixet-Pro les radiacions. Això, va ser gràcies a haver fet els càlculs a l'Excel (**4.1**), adonant-nos de quines eren quines per el seu valor energètic en KeV. Les que eren provocades per partícules alfa, tenien forma rodona; les beta, forma rectangular, gruixuda i vertical; i les gamma, forma lineal, fina i en totes direccions, generalment corbes.



En el procès dels càlculs de les diverses magnituds de les diferents partícules, no només vam aconseguir saber sobre el programa i les mateixes partícules. Sinò que també vam aprendre a utilitzar l'Excel de manera científica: aplicant fòrmules i constants.

Encara i així, vam tenir algunes dificultats com: errors a l'hora d'aplicar fòrmules, parèntesis mal posats, constants equivocades, equacions formulades malament, entre d'altres.

Una vegada vam connectar el Minipix a l'ordinador vam trobar algunes dificultats amb el programa. El programa que ens mostrava el manual feia lectures posant un arxiu segons el nombre de model de Timepix.

El problema era que el que vam baixar nomès descarregava lectures ja fetes. Llavors vam adonar-nos que la versió que havíem de tenir era la v1.4 i nosaltres teníem la v1.7.

Quan ja vam canviar de versió, ja vam ser capaços de fer lectures amb el nostre propi Minipix. Aleshores, vam provar amb les mostres radioactives.

La nostra conclusió final és que aquest aparell pot assimilar impactes de partícules alfa, beta i gamma i traspasar la informació sobre l'energia i posició d'aquestes. Tot i això, hem pogut observar que l'aparell, o més ben dit, el programa nomès capta informació fins als 11810 KeV en qualsevol lectura. Moltes de les partícules que ens mostra amb aquesta quantitat d'energia considerem que són raigs gamma amb un valor molt més gran d'energia que el programa no és capaç d'assimilar.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- La idea principal del treball es dona gràcies al projecte Admira:

<https://serviparticules.ub.edu/projectes/projecte-admira>

- La informació sobre la Radioactivitat en general es basa en:

<https://junior-report.media/que-es-la-radioactivitat/>

- Per saber com utilitzar el MiniPix vam comptar amb l'ajut de:

Iniciació al Medipix - ADMIRA <Estudi de la Radiació i les seves propietats.  
Comparació dels models clàssics i relativista en la radiació alfa i beta.>

- Moltes definicions van ser inspirades de la Viquipèdia:

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Portada>

- També cal destacar que moltes de les constants i valors importants com la velocitat de la llum, la massa de les partícules, etc, vam trobar-ho gràcies al buscador de Google:

<https://www.google.es/>

- Per a fer alguns factors de conversió vam utilitzar la web:

<https://www.convertir-unidades.info/convertidor-de-unidades.php?tipo=energie>

- Quan vam treballar les partícules, per a l'alfa vam utilitzar:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula\\_alfa](https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_alfa)

· Per a la beta:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula\\_beta](https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta)

· Per als raigs gamma:

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3\\_gamma](https://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_gamma)