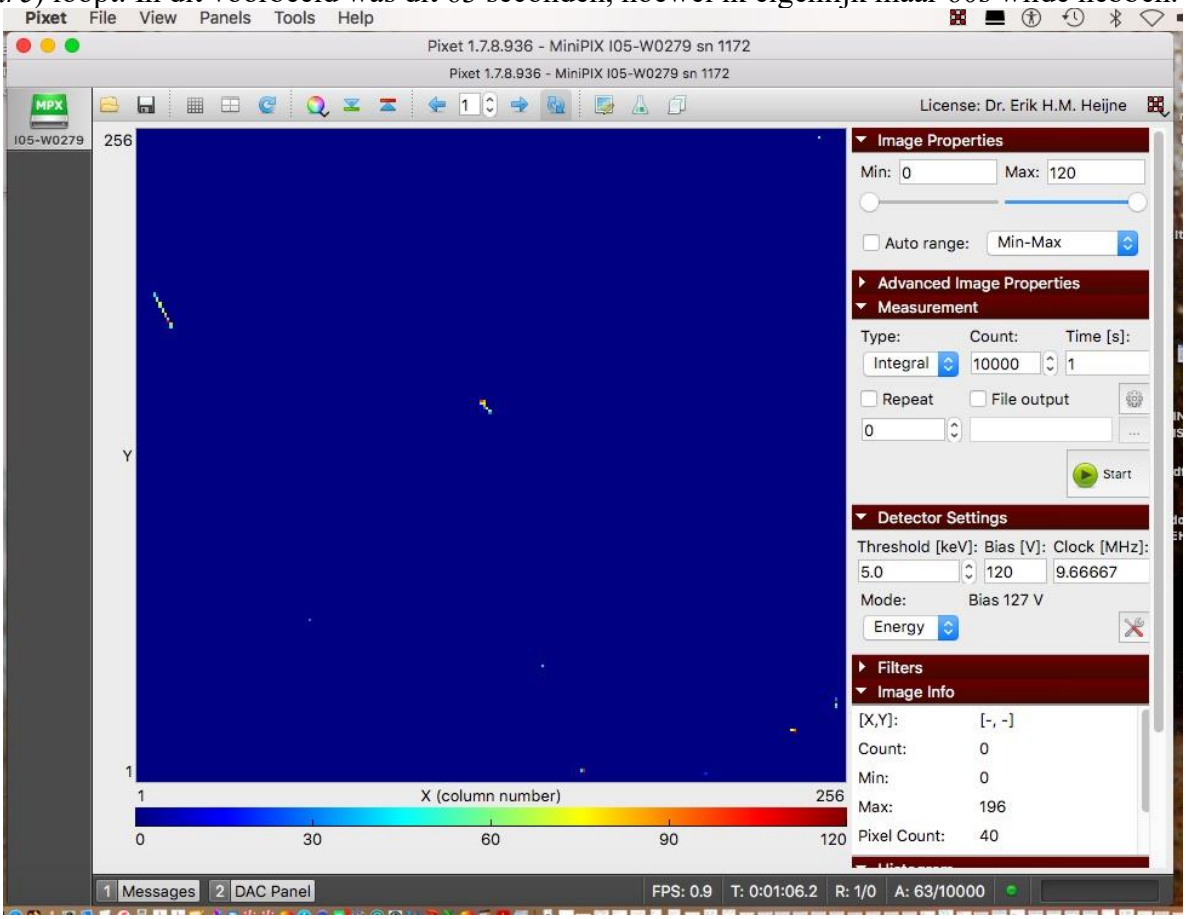
Experimenten pixel detektor Timepix (Medipix team) 4 okt 2023 bezoek NNV profielwerkers

De detektor (chip van CERN) werkt met het programma **'Pixet'** van de fabrikant 'Advacam' in Praag. Je hebt Pixet Basic en Pixet Pro, en het laatste heeft meer mogelijkheden. Bij opstarten moet Pixet de aangesloten detektor zien, en 'm in de bovenste lijnen aangeven, en dan de nodige parameters er voor laden.
** Als de detektor nog niet eerder met deze computer was gebruikt, moet de *.xml file* nog worden opgehaald van een USB stick, die met de detektor werd opgestuurd. Bij deze parameters zit gewoonlijk ook de ijking van de energie-schaal, zodat de energie in elke pixel wordt omgerekend in keV (kilo-electron-volt).
Meestal is de ondergrens voor detektie in elke pixel op 5 keV afgesteld (zie scherm), maar het zou eigenlijk ook wel wat lager kunnen. Dan is alleen de voorziene ijking niet meer korrekt.

Het getoonde scherm kan van boven korter worden gemaakt en ook verschoven, zodat de onderste grijze balk zichtbaar is. Daar wordt bijgehouden hoeveel 'frames' er al zijn en hoe lang de 'belichting' (*exposure*) loopt. In dit voorbeeld was dit 63 seconden, hoewel ik eigenlijk maar 60s wilde hebben.



Het scherm stelt de pixel-matrix van 256x256 pixels voor, die ieder 55µm x 55µm zijn. Hier verschijnen de clusters van 'hits' door de ioniserende elementaire deeltjes, die signalen geven in de pixels. De kleurschaal geeft aan hoeveel energie er werd gedeponeerd in een pixel. Als er meerder deeltjes door dezelfde pixel gingen, gedurende de belichting, dan wordt alle energie samen opgeteld. Er zijn verschillende manieren om de inhoud van de pixel-matrix te laten zien, door op de kleurenbal in de bovenbalk te klikken. De energie-schaal kan worden aangepast in het vakje boven in de rechter-kolom: '*image properties*' min-max. Voor elektronen en fotonen is de energie per pixel meestal tussen 10 en 150 keV, maar voor hoog-ioniserende alfa-deeltjes kan dit wel oplopen to een paar 1000. Dan zie je donkerbruin: '*overflow*', tenzij je even deze energieschaal aanpast.
De gegevens van de geraakte pixels staan rechts onder ***image info.*** Met de muis kan je een cluster uitzoeken, vergroten en de ***info*** ervan dan ook zien.

Eerst meten we de straling die natuurlijk in de omgeving is, en 60 frames van 1s, 1 minuut, is handig, met niet veel clusters. Tel de clusters, en schrijf een aantal metingen op om wat statistiek te krijgen.

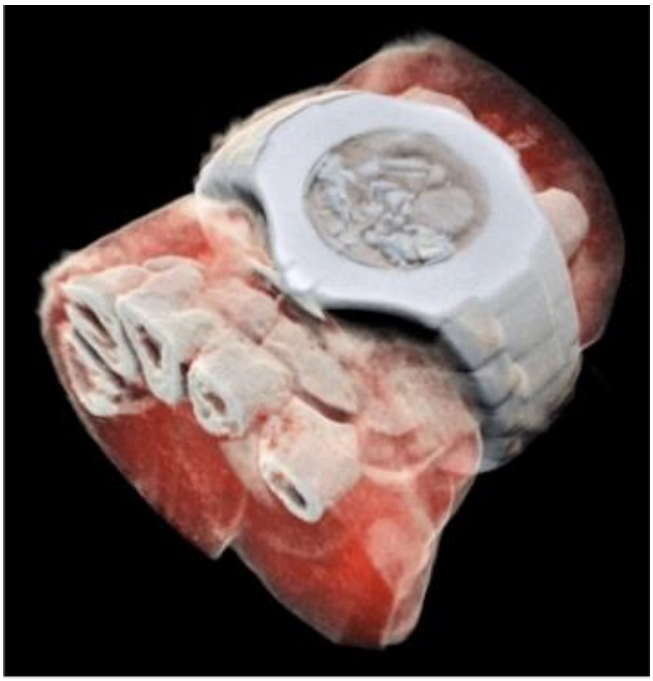
Als we vervolgens naar verschillende radioaktieve materialen kijken, en er veel clusters komen, kan je minder frames nemen, of zelfs de belichtingstijd korter maken dan 1 seconde, bijv. 100ms. De detektor werkt zelfs nog als je maar 100ns instelt, maar dat heeft alleen zin in het midden van de LHC collider.

E**xperimenten 4 okt 2023**

Voorzichtig alsjeblieft: het instrumentje is nogal gevoelig, speciaal het inval-oppervlak niet aanraken, want dan gaat het kapot, vooral door diffusie van het zout op je vinger. Ook niet laten vallen of stoten, wegens de ~200 draadverbindingen er in.

Het plan is om eerst de **natuurlijke omgeving**s-straling te bekijken. Welke deeltjes vliegen er rond?

Daarvoor is het goed om de detektor rechtop te houden, zo mogelijk met de aansluiting van onderen. Het scherm laat dan zien hoe de deeltjes van boven naar beneden komen, vooral de (tamelijk zeldzame) kosmische straling van **muonen** met een nogal hoge bewegings-energie. Die gaan vaak door tientallen pixels, en je kan hun ruimtehoek bepalen door de ingangs en uitgangspixels te nemen, in de 300µm/0.3mm dikte van de gevoelige silicium-laag.
Elektronen met MeV energie laten lange, kronkelende sporen zien, omdat ze van richting veranderen als ze in de buurt komen van de Si atomen. Als ze steeds langzamer gaan, verliezen ze steeds meer energie per afstand, en als ze helemaal tot stilstand komen, zit alle resterende energie in één pixel, met een groot signaal. Dit is de zg. **Bragg-piek**, genoemd naar de ontdekker van dit verschijnsel. Bij bestraling van kanker-gezwellen met versnelling van koolstof- of zuurstof-ionen wordt de energie juist zo gekozen dat de ionen in het gezwel tot stilstand komen, en dus daar de meeste schade aanrichten, en minder op de weg er naar toe.
Elektronen van lagere energie, of elektronen die onstaan als een **foton/röntgen quantum** een elektron vrijmaakt, geven clusters van maar één of enkele pixels. De som van de energieën in die pixels laat dan de energie zien van het originele foton of elektron. Als je de detektor bestraalt met een bepaald aktief materiaal, kan je het energie-spektrum van dat materiaal bepalen. Of omgekeerd: uitvinden welk materiaal het is, via het spektrum.
Röntgen foto's met 3-dimensionale materiaal analyse die hierop is gebaseerd, worden nu gemaakt met behulp van de Medipix detektoren, in een scanner door de fabrikant 'MARS' in Canterbury, Nieuw Zeeland. Hier een voorbeeld, al een tijdje geleden zelfs gepubliceerd in de 'New York Times':



CT scan van de pols van prof Butler in Canterbury, Nieuw Zeeland, met gebruik van de Medipix3 detektoren, voorzien van een cadmium-telluride (CdTe) sensor matrix. Door ieder röntgen foton in een pixel apart te analyseren, en de energie er van te gebruiken, kan de samenstelling van het orgaan worden ontleed. Spieren, botten, merg en het metaal van zijn horloge zijn goed te onderscheiden.
De afsnijding is virtueel, natuurlijk, gemaakt door het computer programma.

Volgende pagina's met de meettabellen zijn (nog) in het engels.

Experimenten 4 okt 2023 unfortunately the available time for the visitors is quite short.
experiments to be reviewed and extended

Precautions: device is very sensitive and expensive: please DO NOT TOUCH SURFACE: can easily be damaged.

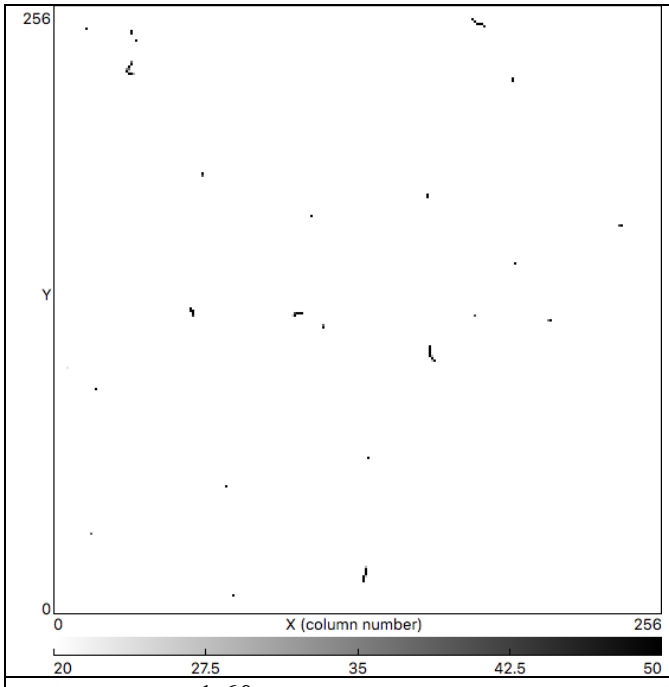
1. See the invisible energetic radiation components surrounding us: particles & photons >5keV

This are mostly 'quanta' from cosmic rays and elctrons and photons coming from the walls. Long exposures needed: set frame duration at 1s, and accumulate [INTEGRAL mode] each time 60 frames. Write up these 1minute-results in the table below. Note the class of the different cluters. Compare the data for 5 or 10 minutes. Sometimes, you can be lucky and see a special particle, such as a **high-energy electron**: a longer, wiggling track; a cosmic **muon**: a straight, longer track, or an **alpha particle-He ion**: a cluster of many pixels in a 'blob'. You can add up the total energy deposited by such a special particle, by summing the energy values of all the pixels in the cluster.

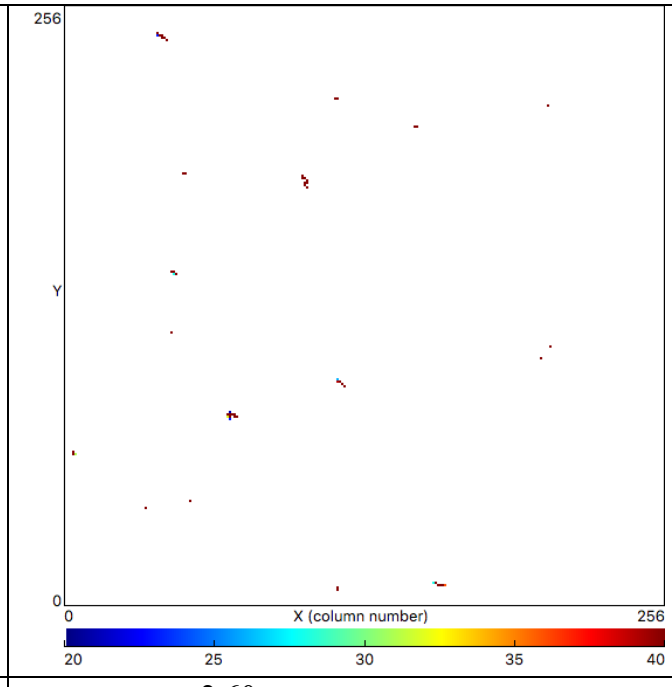
TABLE 1 of surrounding radiation

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row	60s	60s								
# pixels	pix-count	74	60								
max pix	screen	238	247								
total energy	screen	5720	3919								
# clusters	manual	20	16								
# single	manual	5	5								
# 2-4	manual	9	6								
# 5-10	manual	6	5								
>10	manual	-	-								
special	manual	-	10p								
energy	screen		815								
special	manual										
energy	screen										

more ???



measurement 1 60s



measurement 2 60s

single clusters		
pixel counts	9	10
energy keV	578	815
max keV	125	247

Experimenten 4 okt 2023 vervolg van 1, meer statistiek

vervolg Tabel 1

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										

energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

2. Recording frames using a weak radiation source: **uralite glass** emitting energetic photons which convert to electrons in the detector.
The source is so weak that only a small increase of clusters can be observed.

TABLE 2 of increased radiation, using a weak source: glass with uranium light green coloring

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

3. Stronger radiation intensity observed if using an **old wristwatch**. This has radium on the hands and plate. This enabled to see the time in the dark, but today tritium is used as source, although this has a much shorter half-life, so that it does not work anynore after ~10 years.. The radium directly emits electrons, and for a long time. Half-life of Ra is 1600 years. Actually, the light is produced by electron excitation in a phosphor material, which degrades after a few decades, while the Ra continues to emit.

TABLE 3 of frames with watch. Use short exposure time to limit number of clusters, e.g. 0.01s

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

Further testing, with sources such as potassium salt or thoriated welding rod, to be determined

4. Using laboratory sources to see the difference between photons, electrons, alpha particles (=helium ions) which have all different types of clusters in the pixel matrix (sources maybe not allowed?).

5. Using a source and an absorber plate one can see the penetration and energy of the different elementary particles. Alpha particles are stopped by a thin piece of paper. Electrons can be stopped by an aluminium plate. For stopping photons one needs some lead.

5. The imaging precision can be studied by using an absorbing object in different positions above the matrix. This requires statistics and analysis.

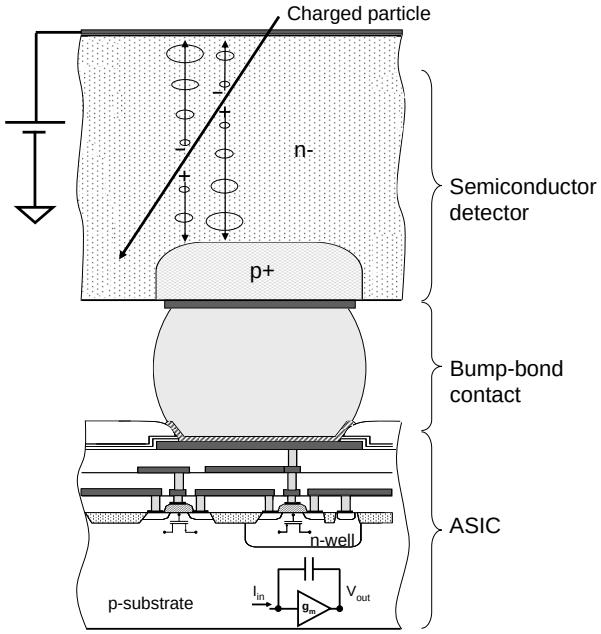
6. If a much longer exposure can be made (close to an hour) with the sensor plane vertical instead of horizontal, one will see several long muon tracks from the cosmic rays. The angular distribution could be determined if sufficient statistics can be achieved. This works better as an overnight measurement.

recorded quantity	measured exposure	1 example	2 example	3	4	5	6	7	8	9	10
exp time s	bottom row										
# pixels	pix-count										
max pix	screen										
total energy	screen										
# clusters	manual										
# single	manual										
# 2-4	manual										
# 5-10	manual										
>10	manual										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										
special	manual										
energy	screen										

Experiments with Medipix/ Timepix silicon detectors, NNV Quarktravel demonstration sessions.

Erik Heijne, Ana Dorda, Pinelopi Christodoulou, Jerome Alozy (Medipix team led by Michael Campbell)

October 2023



Schematic drawing of 2-layer silicon pixel, one of the 65 563 on a 14x14 mm Timepix.
*** NOT to SCALE, Thickness of detector layer can be between 50µm and 1000µm, the solder bump is typically10µm. Lateral dimension of square pixels in Timepix is 55µm.[2]

The detector is a 256x256 matrix of pixels (55µm square) and each pixel is a detecting element with a complete electronic signal processing chain: amplifier, comparator, 14-bit memory, control and adjustment. The pixels have 100% sensitive area, because the electronics signal processing circuits are in a separate silicon layer, the ASIC chip at the bottom, in the drawing. Each sensor pixel is connected to its own readout pixel by a small solder bump contact, diameter ~20µm, and there are 65 563 contacts.
Supply voltages can be adjusted ('tuned') on-chip using Digital-to-Analog Converters (DAC).
The Timepix has an Analog-to-Digital Converter (ADC using 'Time-over-Threshold) in each pixel, which uses a common 40 MHz clock, swiching every 25ns. The signal amplitude is converted in a number of these clock pulses, and for a while stored in the pixel memory, until it can be sent out.

How to operate the devices?

Now we use for the 'MiniPix' Timepix sensors the Pixet software program, much of it originally developed at the Institute for Experimental and Applied Physics IEAP of the Czech Technical University in Prague, and then perfected and made available commercially by the spin-off company 'Advacam', also in Prague. In the demo we use original Timepix instruments, which have been calibrated using radioactive emitters of X-rays with very precise energy values. such as for example ^{5}Fe at 5.9keV, ^{241}Am at 60keV, ^{57}Co at 122 or 136 keV.

- **Startup** of program: connect to the device, open Pixet, and the sensor data are displayed on the top and in the control panel. On the left, an image of the full sensor area, a 256 x 256 matrix is displayed. The coloring of this display can be selected via the 'color-ball' at the top. Several operational parameters can be chosen on the control panel. The time for each exposure can be chosen in s, as short as a 0.001s or as long as reasonable. With cosmic radiation we usually take 1s frames. One can display frames one after the other, separately, or continue integration for an indicated number of frames by choosing '*integral*'. One may display either the signal amplitudes in each pixel (ToT, values usually calibrated in keV), or display the arrival times (in ns) of the earliest signal in each pixel. In the Timepix3 both parameters are measured for all hits, and stored in separate parts of the enlarged memory. In the original Timepix, with shorter memory, (used in our set-ups here) the parameter to be measured has to be asked in advance: either ToA or ToT, and only this one is measured and stored. Other parameters such as threshold value in keV, sensor bias voltage and Timepix clock frequency also might be changed, but DO NOT TOUCH, because then the energy calibration for the sensor is not valid anymore.

The image of the sensor area shows clusters of pixels which are very characteristic for the different particles or electromagnetic quanta. It is easy to recognize alpha particles ('blobs'), medium energy electrons ('wiggles') or low energy photons which have converted to a photo-electron (single, double or triple pixels). When clusters seem to overlap, caused by two or more different quanta, these can be resolved in the Timepix3, by using the arrival time information, which has recorded the earliest signal occurring in a pixel.

Data recording. How to save frames in a file on the computer.

Precautions: instrument is very sensitive and expensive: please DO NOT TOUCH SURFACE: can easily be damaged.