

Overview of the CZPAD Experiment

M. Kákona[1], J. Šlegl[1], M. Sommer[1], R. Dvořák[1], I. Ambrožová[1], M. Košťál[2], T. Czakoj[2], T. Peltan[2], M. Hruby[3], J. Kucka[3], J. Pánek[3], V. Hanousek[4], J. Kákona[5], A. Smejkalová[6], M. Davídková[1,7], **O. Ploc[1]**

[1] Nuclear Physics Institute of the Czech Academy of Sciences, Řež 292, 250 68 Husinec, Czechia
[2] Research Centre Řež Ltd, Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec, Czech Republic
[3] Institute of Macromolecular Chemistry CAS, Heyrovského nám. 1888/2, 162 00 Prague 6, Czechia
[4] Institute of Information Theory and Automation of the CAS, Pod Vodárenskou věží 1143/4, 182 00 Prague 8, Czech Republic
[5] Universal Scientific Technologies s. r. o., Soběslav, Czechia
[6] ADVACAM, Prague, Czechia
[7] National Radiation Protection Institute, Bartoškova 1450/28, 140 00 Prague 4, Czechia

CZPAD experiment
CZech **P**ersonal **A**ctive **D**osimeter

1. Distinguish thermal neutrons
2. Identify the optimal placement
3. Technology demonstration of the Dosimeter Display Unit

1x Dosimeter Display Unit (DDU)

4x Space Dosimeter Unit (SDU)

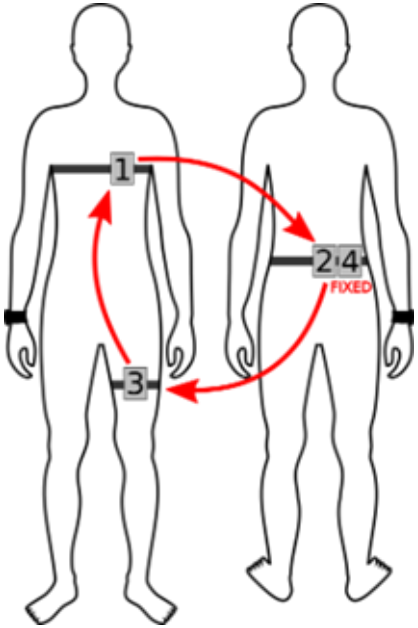


Aleš Svoboda in space - a planned ~ 2-week mission to the ISS in 2027

CZPAD concept for ISS

- Rotation of units + charging







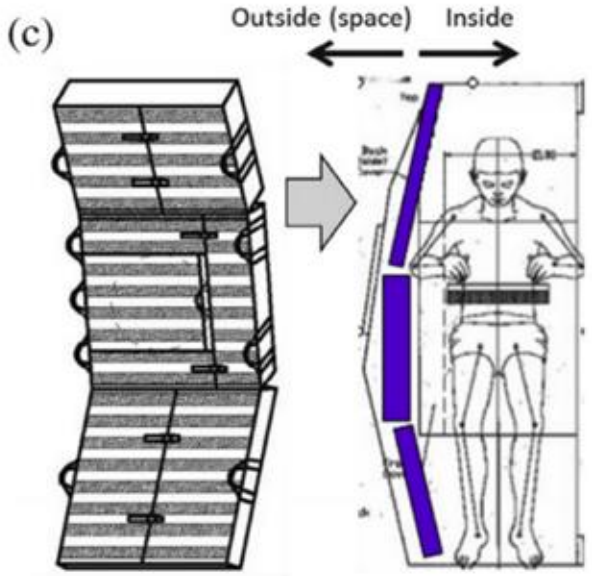
Motivation







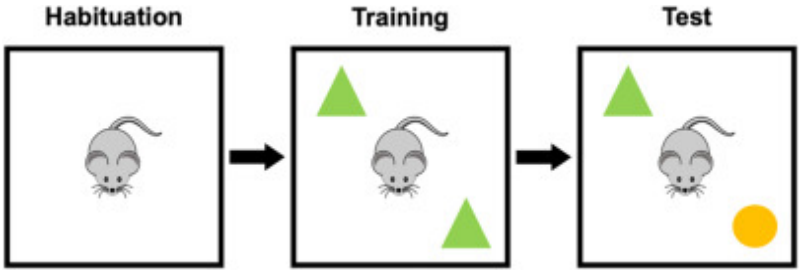




https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.08.025

Ploc, Ondřej, et al. "PHITS simulations of the Protective curtain experiment onboard the Service module of ISS: Comparison with absorbed doses measured with TLDs." *Advances in Space Research* 52.11 (2013): 1911-1918.

Neutrons
X
Cognitive functions



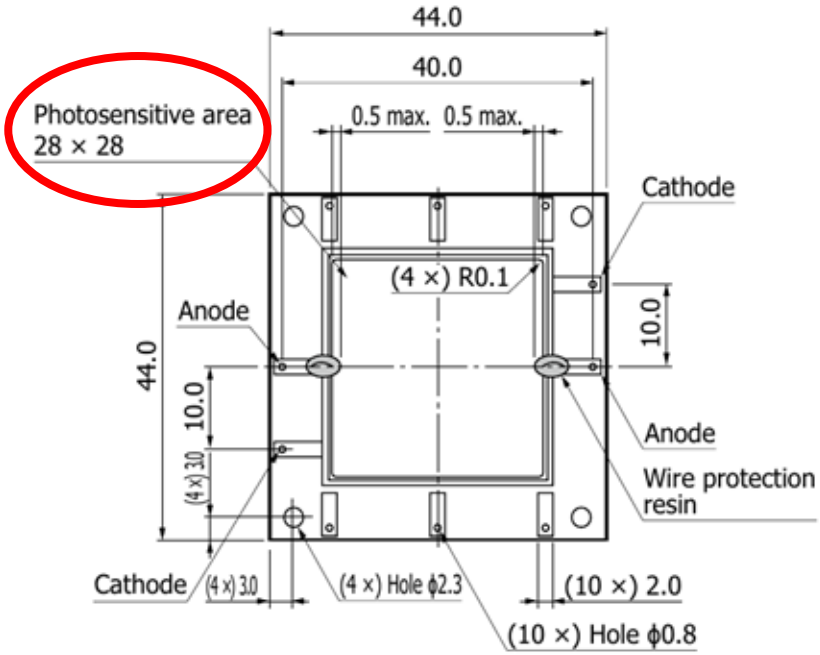
-20 %

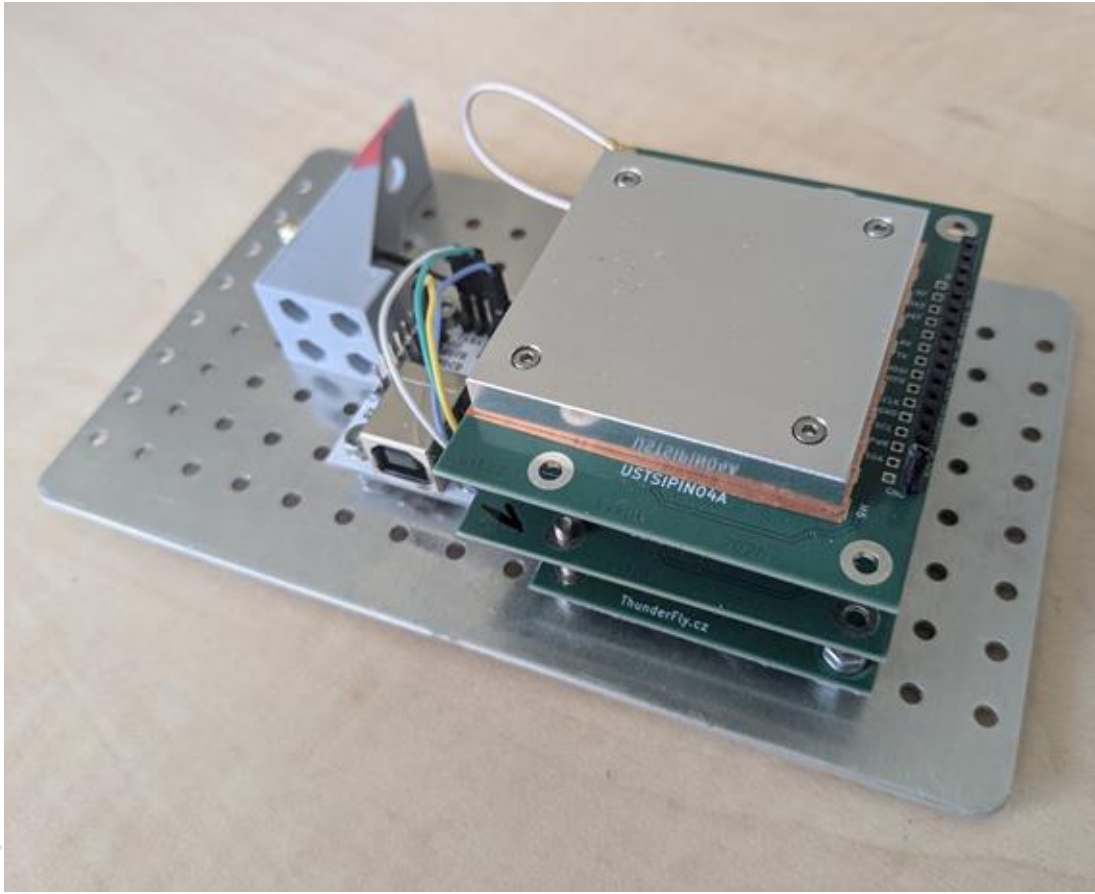


https://www.eneuro.org/content/6/4/ENEURO.0094-19.2019
Ebbinghaus taking a metacognition test in Terrace's monkey lab. Photo courtesy of Herb Terrace.

EM1 SPACEDOS04

Large size PIN diode SI14537-500





Patents

CZ 307 570 Particle identification

Particle type is identified by pulse-shape analysis. The pulse integral provides the deposited energy.

CZ 308 563 Mixed-field detection

A silicon PIN diode combined with neutron-conversion layers enables the detection of both photons and neutrons.

CZ 308563 B6

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:
308 563
(13) Druh dokumentu: **B6**
(51) Int. Cl.:
G01T 3/08 (2006.01)
G01T 1/24 (2006.01)
H01L 29/868 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

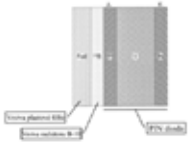
ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2020-5
(22) Přihlášeno: 05.01.2020
(40) Zveřejněno: 25.11.2020
(Věstník č. 48/2020)
(47) Uděleno: 19.10.2020
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 25.11.2020
(Věstník č. 48/2020)

(56) Relevantní dokumenty:
US 8 569 708 B2; US 2019/0 243 012 A1.

(73) Majitel patentu:
Ústav jaderné fyziky AV ČR v.v.i., Husinec, Řež, CZ
(72) Původce:
Ing. Martin Kákona, Soběslav, Soběslav II, CZ
Ing. Iva Ambrožová, Ph.D., Praha 9, Prosek, CZ
(74) Zástupce:
MACHU IP | patentová kancelář, Mgr. Matěj Machů, Ph.D., Václavské náměstí 804/58, 110 00 Praha 1, Nové Město

(54) Název vynálezu:
Zařízení pro měření smíšeného radiačního pole fotonů a neutronů
(57) Anotace:
Zařízení pro měření smíšeného radiačního pole fotonů a neutronů sestávající z PIN diody a radiátoru s velkým účinným průřezem s tím, že vyčerpaná oblast PIN diody má tloušťku alespoň 100 μm, přičemž k PIN diodě těsně doléhá radiátor s velkým účinným průřezem a s tloušťkou vrstvy nejvýše 60 μm pro konverzi neutronů na alfačástice. Radiátorem je výhodně ^{10}B na vnější straně překrytý plastovou fólií.



CZ 307570 B6

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:
307 570
(13) Druh dokumentu: **B6**
(51) Int. Cl.:
G01T 1/02 (2006.01)
G01T 1/24 (2006.01)
H01L 29/868 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2017-649
(22) Přihlášeno: 12.10.2017
(40) Zveřejněno: 12.12.2018
(Věstník č. 50/2018)
(47) Uděleno: 31.10.2018
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 12.12.2018
(Věstník č. 50/2018)

(56) Relevantní dokumenty:
V. Sopko, B.Sopko, D.Chren, J.Dammer: Development of defects in the structure of PIN dosimetry diodes exposed to gamma radiation, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 730 (2013), pages 146–148, Available online: 5 June 2013, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900213007973; Tobias Schmitz, Matthias Blaickner: Adaption of a PIN-diode detector as an online neutron monitor for the thermal column of the TRIGA research reactor, Applied Radiation and Isotopes 128 (2017), pages 142–147, Available online: 08 July 2017, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804317300660; US 2012/102235 A; US 2013/140466 A; WO 2007/146624 A; WO 2004/073326 A; US 5281822 A; US 4757202 A; US 4687622 A; US 4163240 A; CZ 30488 U.

(73) Majitel patentu:
Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., Husinec, Řež, CZ
(72) Původce:
Ing. Pavel Krist, Ph.D., Husinec - Řež, CZ
Ing. Martin Kákona, Soběslav, CZ
Ing. Václav Štěpán, Ph.D., Praha 6, CZ
(74) Zástupce:
Pavel Reichel a kol., Ing. Pavel Reichel, Lopatecká 14, 147 00 Praha 4



(54) Název vynálezu:
Způsob určování druhu ionizujícího záření a zapojení k provádění tohoto způsobu
(57) Anotace:
Pro určování druhu ionizujícího záření pomocí polovodičové PIN diody, zapojené v závěrném směru, se použije PIN dioda s nízkým nebo nulovým záporným předpětím o velikosti nula až jednotky voltů. Na jejím výstupu je náboj úměrný energii, kterou předává na ni dopadající ionizující záření. Tento náboj se následně zesiluje a převádí na napěťový impuls, jehož plocha odpovídá energii předané ionizujícím zářením diodě. Signál se vyhodnocuje pomocí tvarové diskriminace pro určení druhu ionizujícího záření. Odezva od kladného iontu má větší amplitudu než odezva od fotonu při stejné ploše impulzu, to jest při stejné předané energii. Polovodičová PIN dioda zapojená v závěrném směru je svým výstupem připojená k nábojovému zesilovači, který je přes filtr a A/D převodník připojen k počítači.

PIN Diode with ^{6}Li Converter — Physics & Equations

neutron / γ-photon detection — conversion, carrier drift, induced current

1. Neutron capture in ^{6}Li converter

$$^6\mathrm{Li} + n \longrightarrow {}^4\mathrm{He}\,(\alpha) + {}^3\mathrm{H}\,(t)$$

$Q = 4.78$ MeV

$\sigma_{th}(n,\alpha) \approx 940$ b (thermal, $v \propto 1/v$)

2. Kinetic energies of the products

$$E_\alpha = \frac{m_t}{m_\alpha + m_t} Q \approx 2.05 \text{ MeV}$$

$$E_t = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_t} Q \approx 2.73 \text{ MeV}$$

Alpha: range in LiF ≈ 6.5 µm
Triton: range in LiF ≈ 33 µm

3. Energy deposition → e-h pairs

$$N_{eh} = \frac{E_{\mathrm{dep}}}{w_{\mathrm{Si}}}, \quad w_{\mathrm{Si}} \approx 3.62 \text{ eV}$$

e.g. $E_{\mathrm{dep}} = 2.73$ MeV ⇒ $N_{eh} \approx 7.5 \times 10^5$

For a γ-photon: Compton / photo-electric e^- in the i-region
$\gamma \to e^-$ ⇒ track ionisation ⇒ e-h pairs along path

4. Drift in the i-region

$$E = \frac{V_{\mathrm{bias}}}{d}$$ (uniform field in fully-depleted i-layer)

$v_e = \mu_e E, \quad v_h = \mu_h E$ (low-field regime)

$\mu_e \approx 1350$, $\mu_h \approx 480$ cm^2 V^{-1} s^{-1}

⇒ $\mu_e/\mu_h \approx 2.8$ (electrons drift faster)

5. Drift times — triton vs. photon

$$t_{\mathrm{drift}} = \frac{x}{v} = \frac{x}{\mu E}$$

- Triton: e-h pairs born near p$^+$
  $t_e \approx t_h$ (electrons cross full d; holes are stationary)
- γ-photon: e-h pairs in middle of i-region
  $t_e \ll t_h$ (hole must drift through p$^+$ region)

6. Induced current — Shockley-Ramo theorem

$$i(t) = q\,\vec{v}\cdot\vec{E_w} = \frac{q\,v}{d}$$

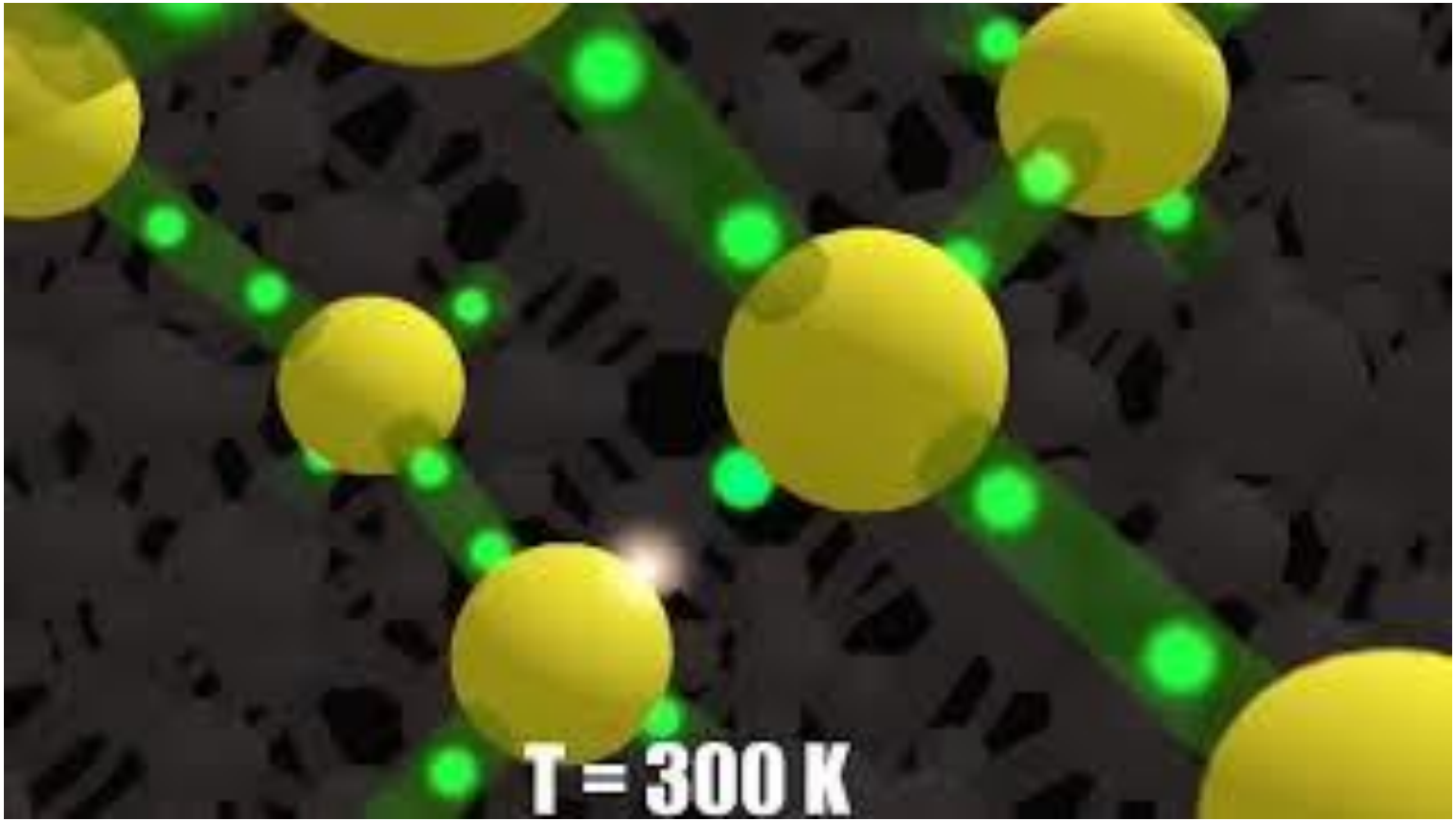
$i(t) \neq 0$ while ANY carrier is still drifting

Output voltage: $U_R(t) = R \cdot i(t)$

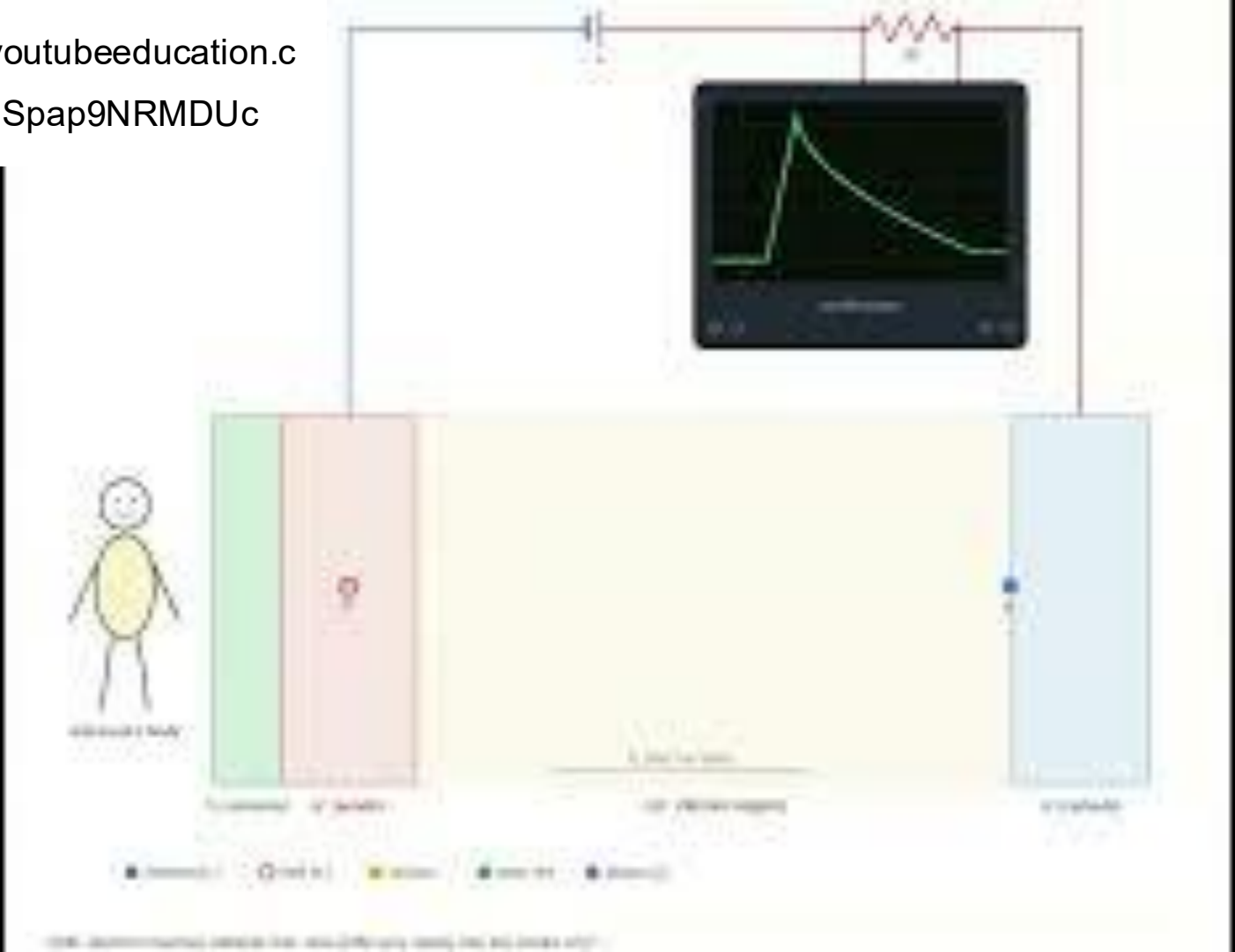
Pulse shape on the oscilloscope (across R)

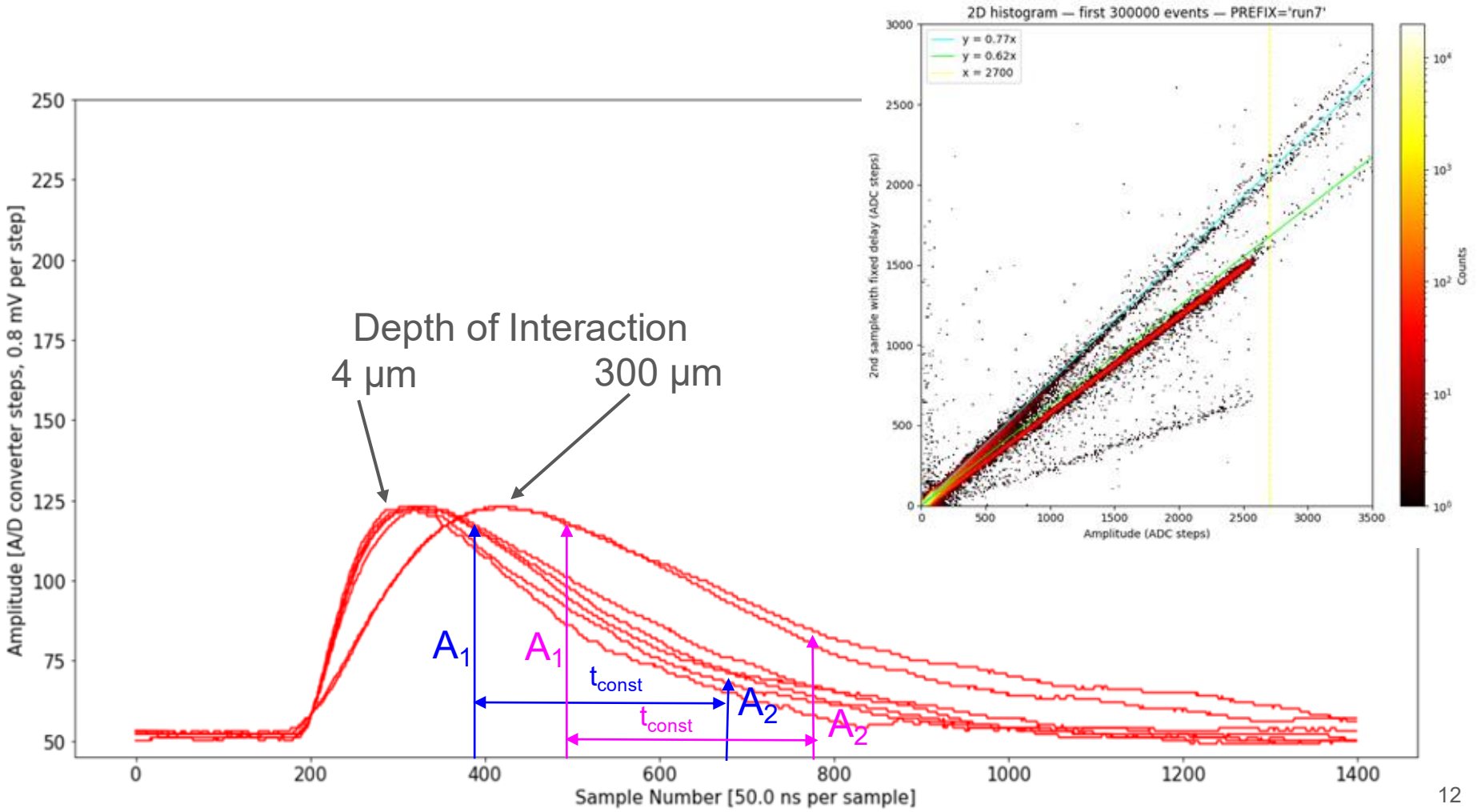
Triton: $t_e \approx t_h$ ⇒ short pulse, fast trailing edge

γ-photon: $t_h \gg t_e$ ⇒ fast rise, slow trailing edge

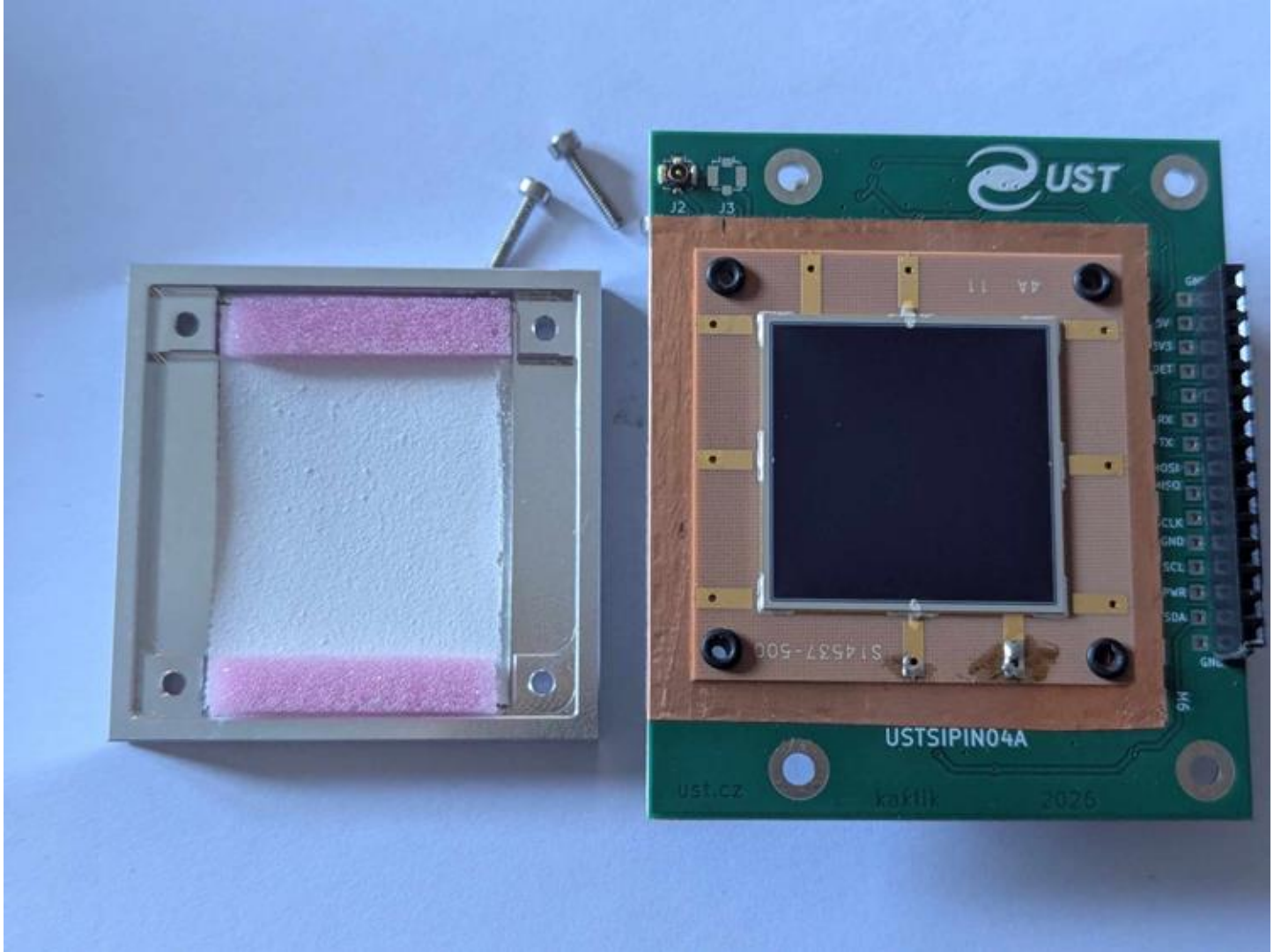

T = 300 K

https://www.youtubeeducation.com/watch?v=Spap9NRMDUc




Depth of Interaction
4 μm
300 μm
A1
A1
tconst
tconst
A2
A2
Amplitude [A/D converter steps, 0.8 mV per step]
Sample Number [50.0 ns per sample]
2D histogram — first 300000 events — PREFIX='run7'
y = 0.77x
y = 0.62x
x = 2700
2nd sample with fixed delay (ADC steps)
Amplitude (ADC steps)
Counts

LiF



CERN · REFERENCE RADIATION FIELD

OPERATIONAL SINCE 1992

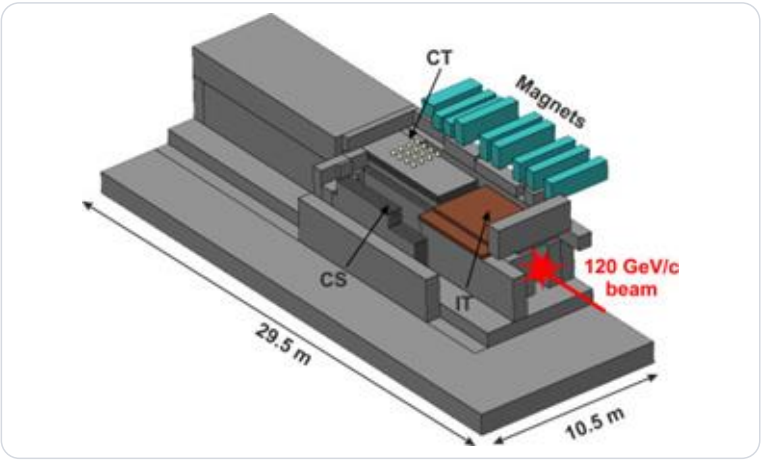
CERN–EU High-Energy Reference Field (CERF)

A reproducible mixed radiation field for dosimetry and detector testing

HOW THE REFERENCE FIELD IS GENERATED

1. **120 GeV/c positive hadron beam**
   Approximately 2/3 π^+ and 1/3 p^+
2. **Copper target**
   50 cm long and 7 cm in diameter
3. **Concrete or iron shielding**
   Creates reference mixed-field exposure positions

FACILITY LAYOUT



WELL CHARACTERISED

Reference spectral fluences and operational quantities

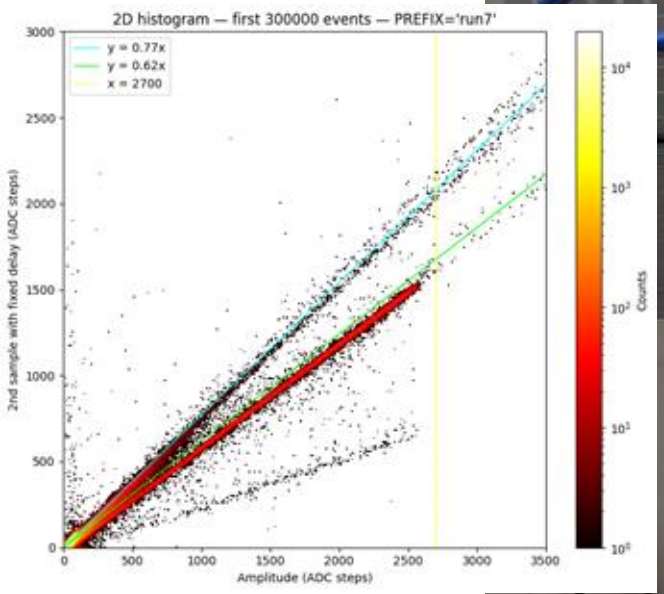
COSMIC-RAY RELEVANCE

High-energy component relevant to aviation and space dosimetry

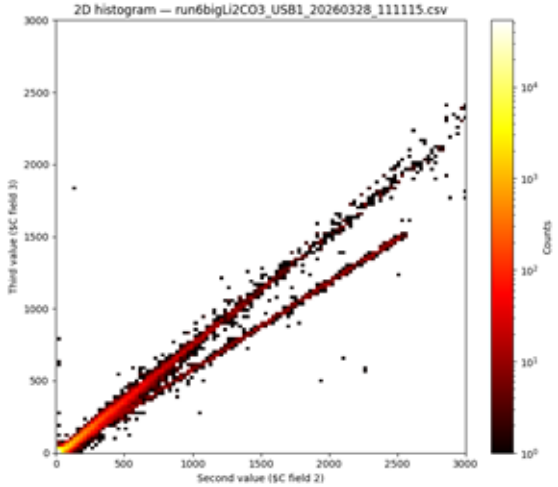
MAIN APPLICATION

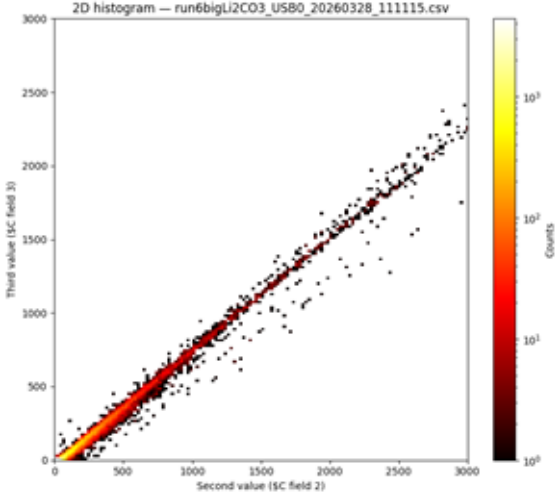
Calibration and testing of radiation-protection instruments

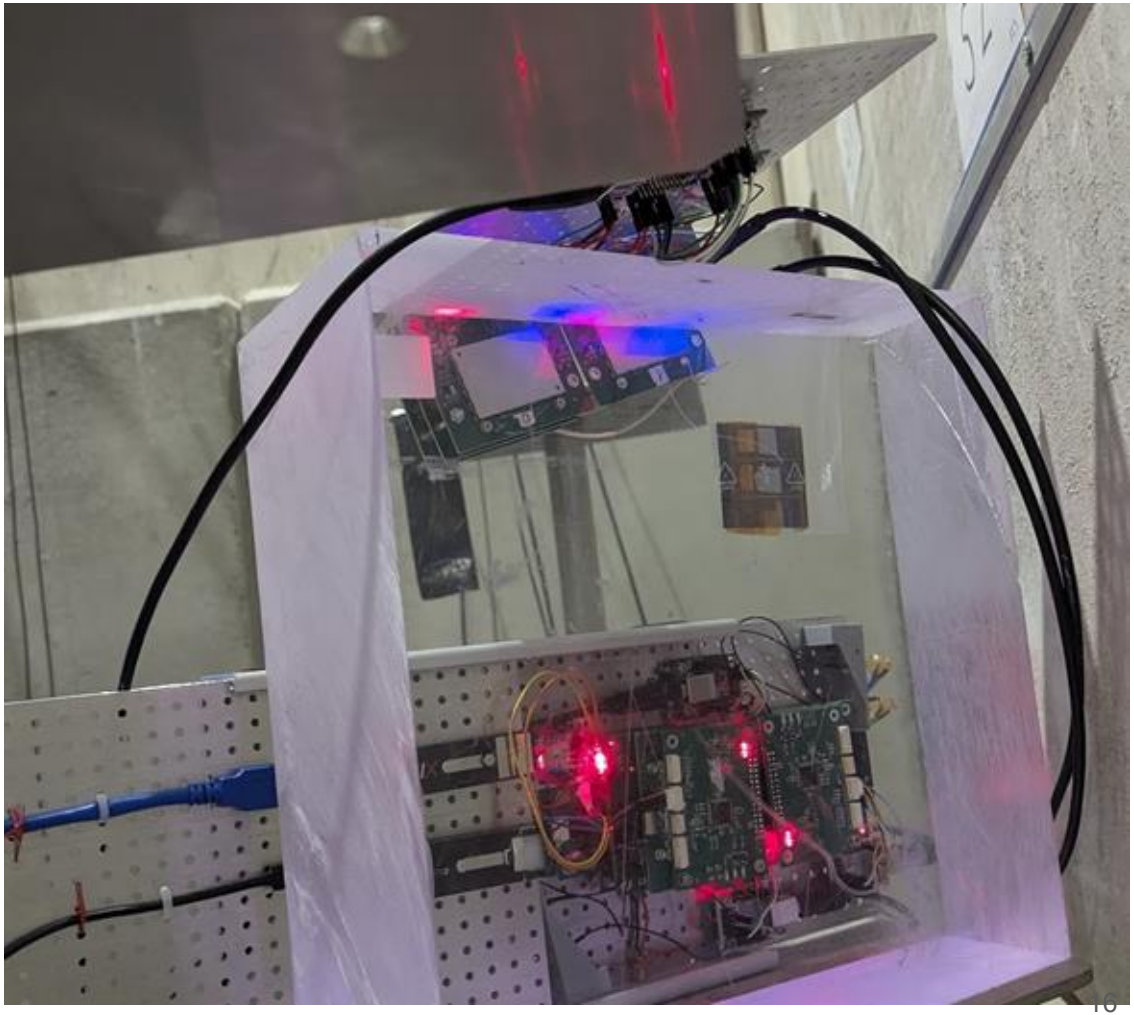
CERN
CERF
SPS 450 Gev



CERN CERF

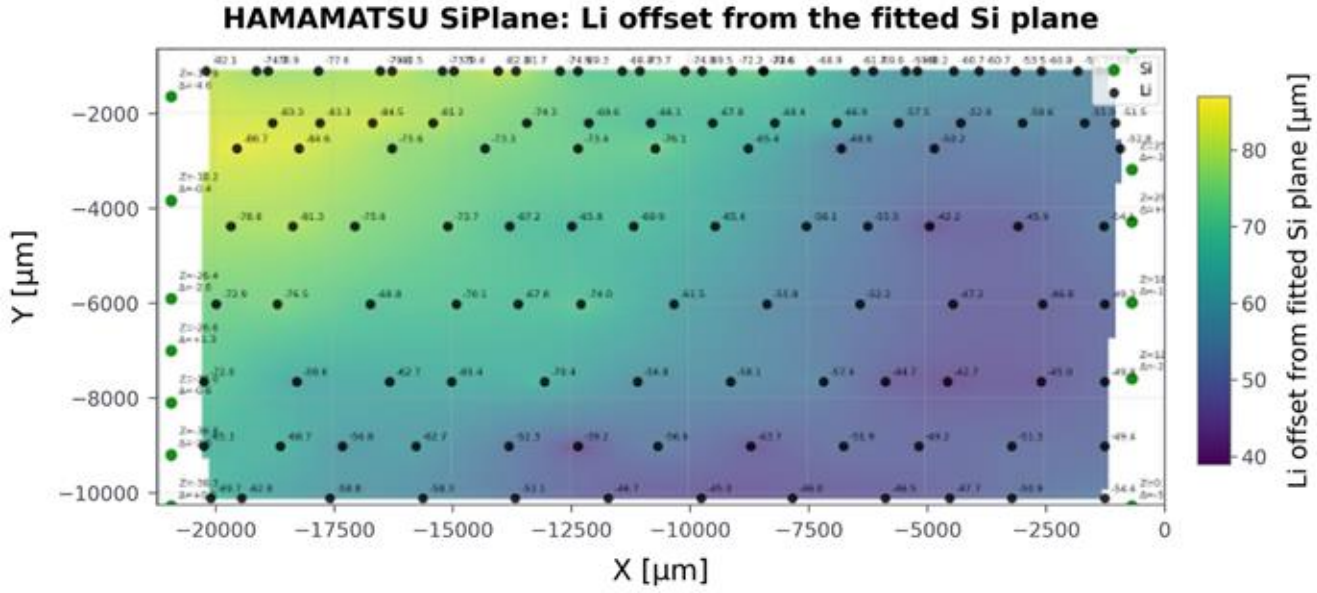

2D histogram — run6bigLi2CO3_USB1_20260328_111115.csv
Third value ($C field 3)
Second value ($C field 2)
Counts

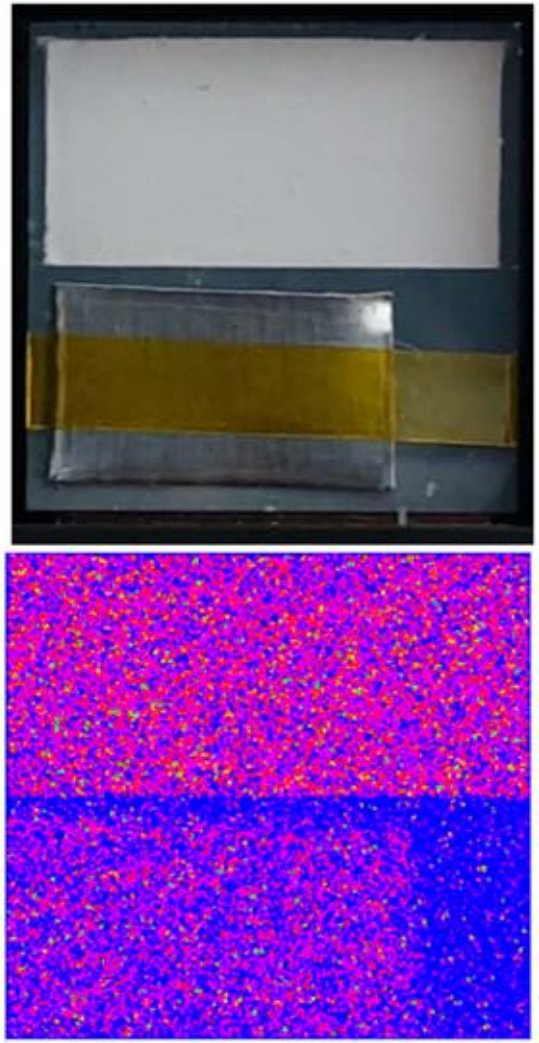

2D histogram — run6bigLi2CO3_USB0_20260328_111115.csv
Third value ($C field 3)
Second value ($C field 2)
Counts



Test of conversion layers in CERF

- ^{6}LiF is more effective then $^{6}Li_2CO_3$
- thickness measured with microscope





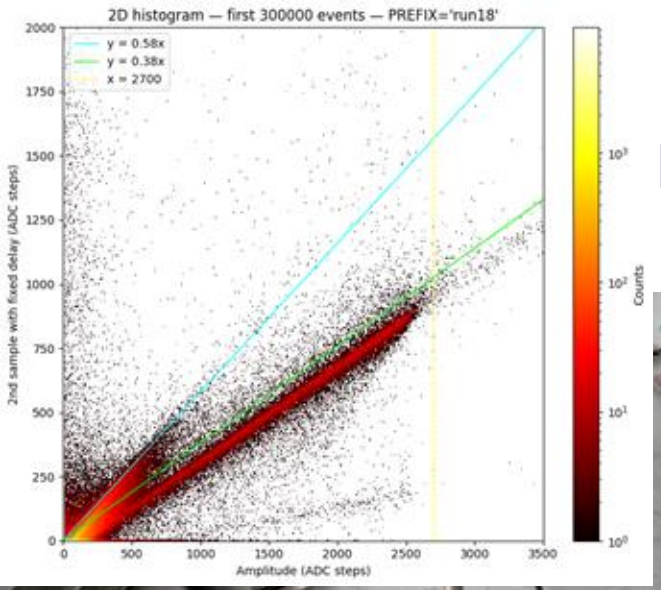
Detector set tested in LR-0

- CZPAD / PIN diode with conversion layers
- Timepix2 and Timepix3 with ^{6}LiF and PE
- Au Activation foils
- Passive detectors





LR-0 Reactor

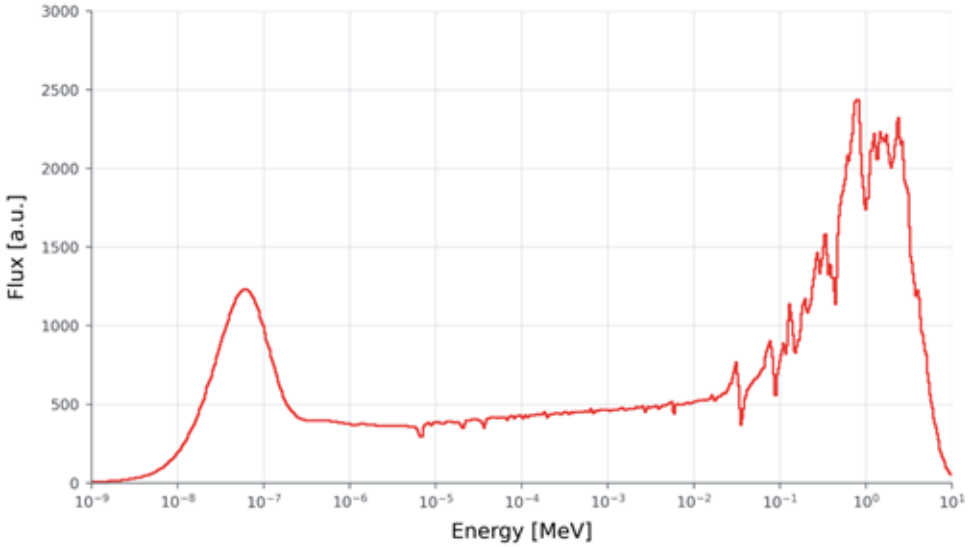

2D histogram — first 300000 events — PREFIX='run18'
y = 0.58x
y = 0.38x
x = 2700
2nd sample with fixed delay (ADC steps)
Amplitude (ADC steps)
Counts

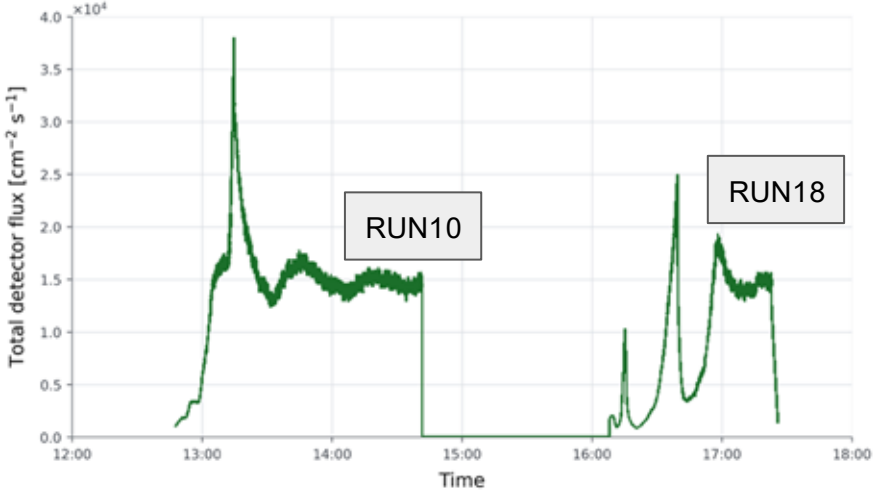


LR-0 neutron field

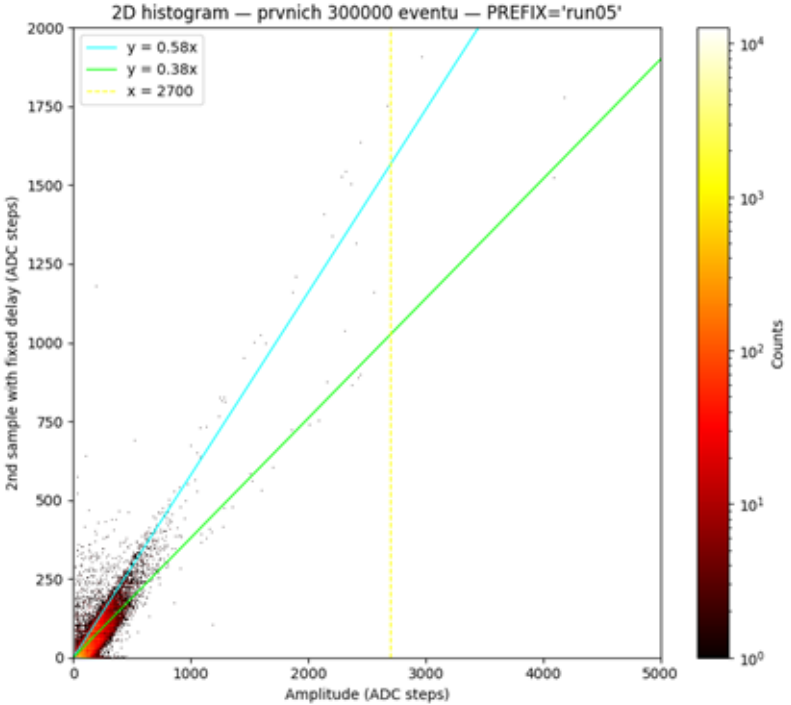
Flux (0-20MeV)	1.48E+04 n/cm^2/s
Flux < 1 eV	3.06E+03 n/cm^2/s

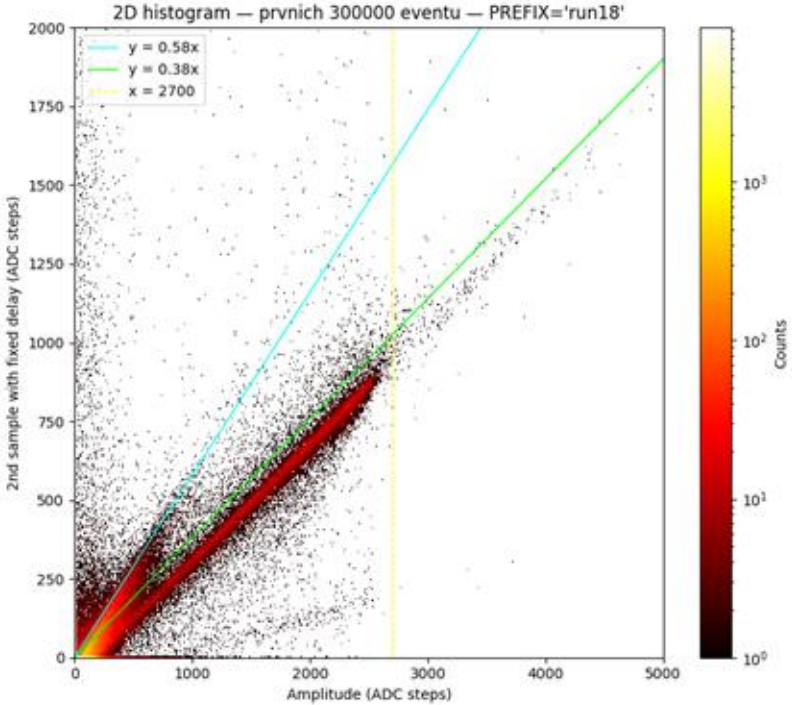






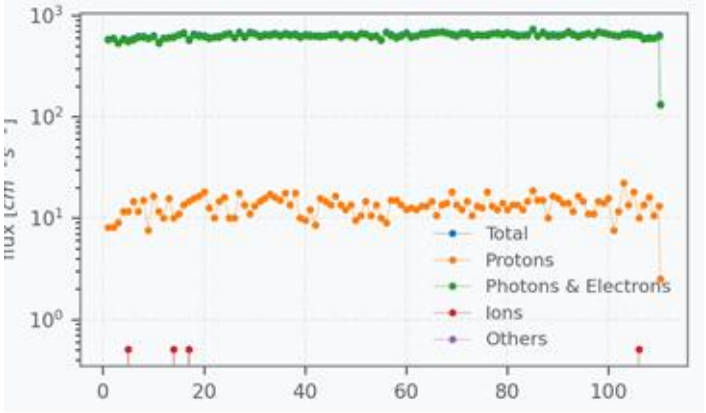
Reactor Off/On

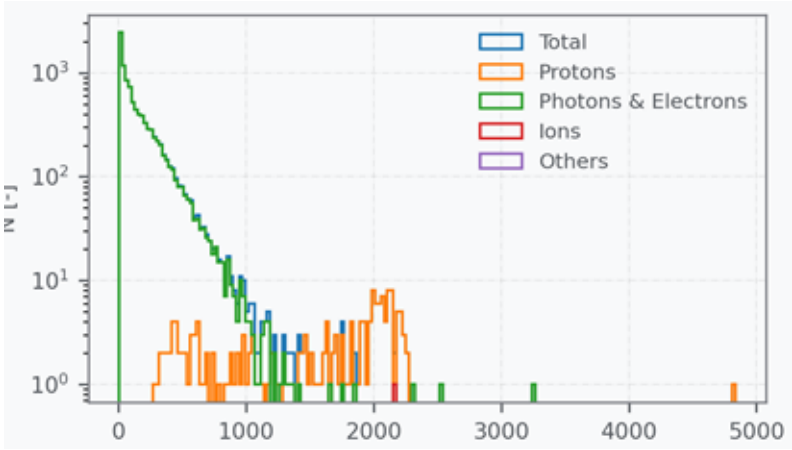


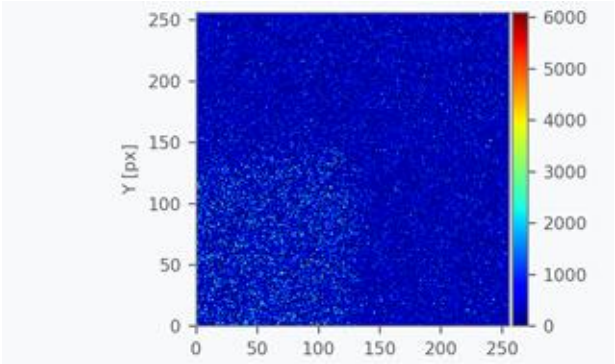


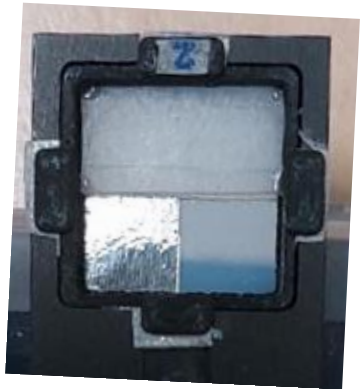
Timepix3 measurements

TraxEngine

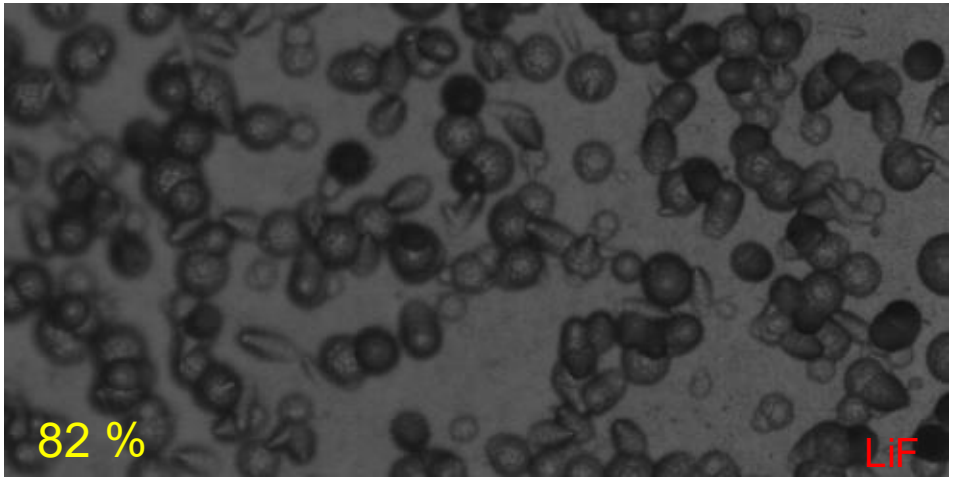


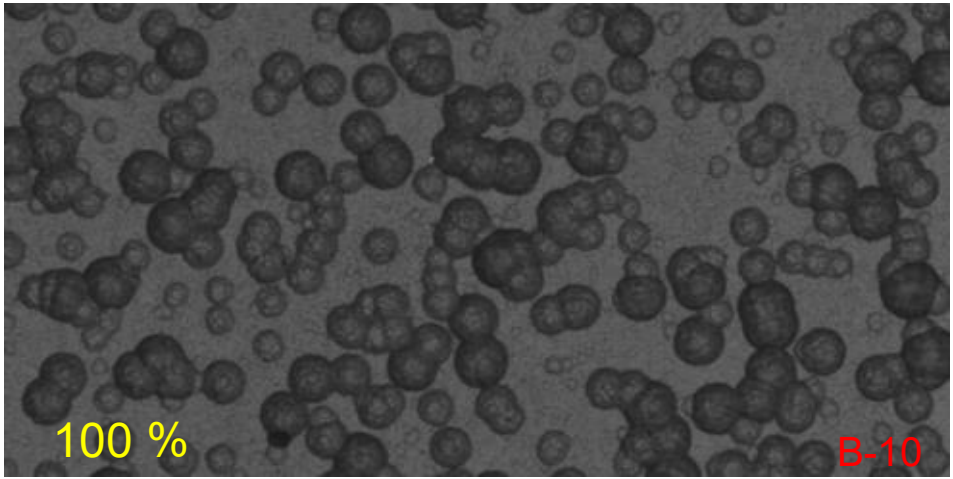


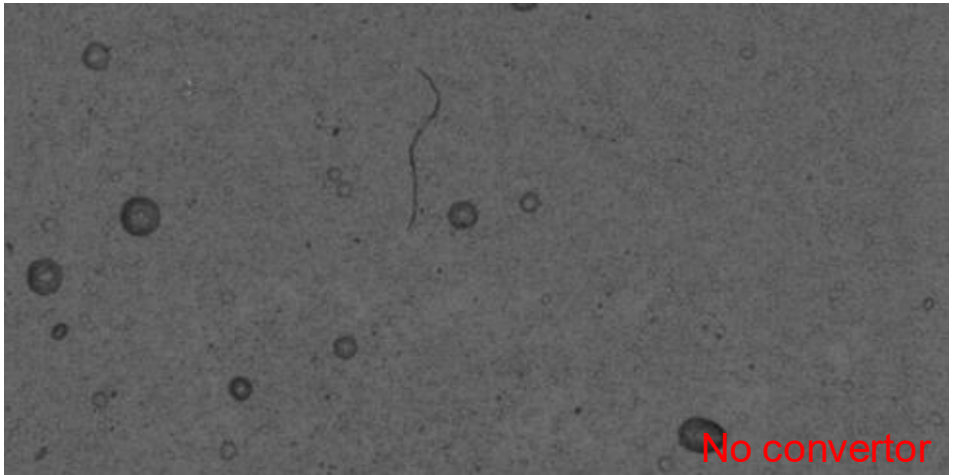


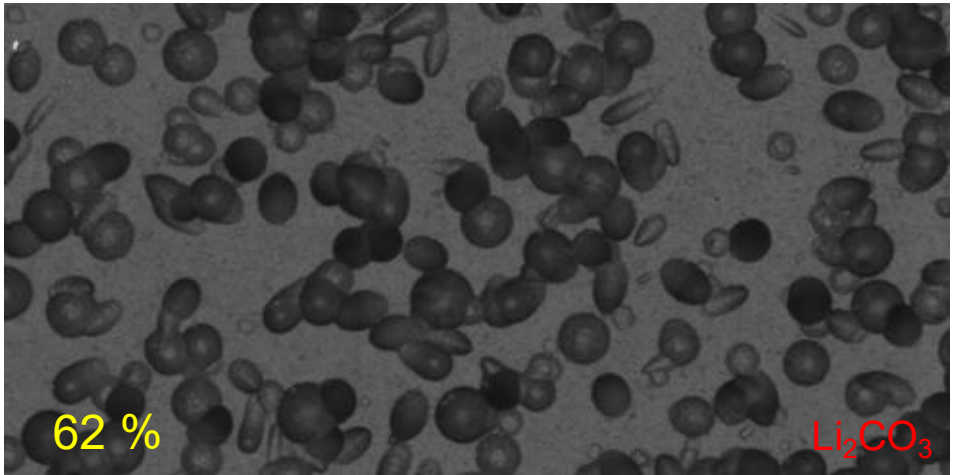


Track etched detectors in LR-0

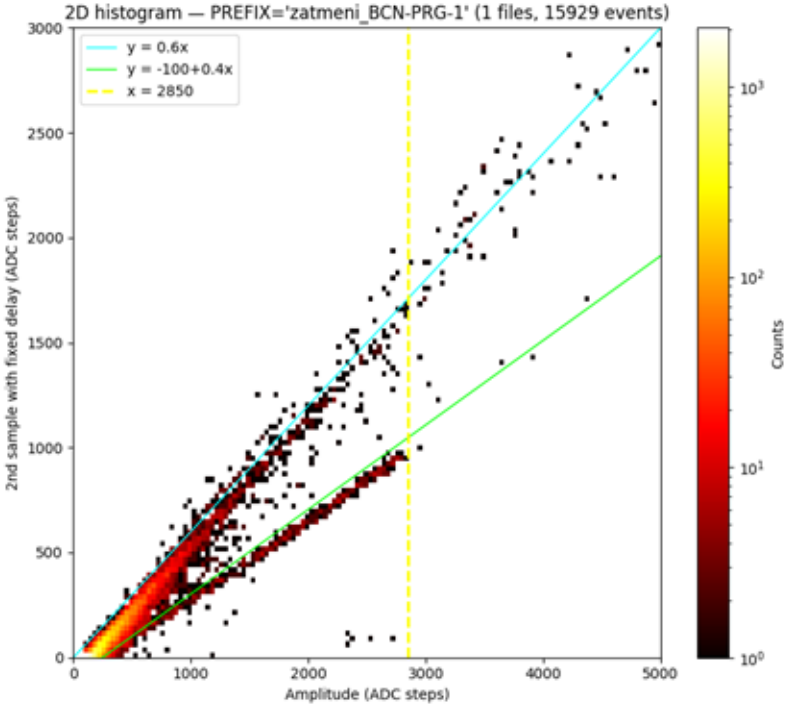


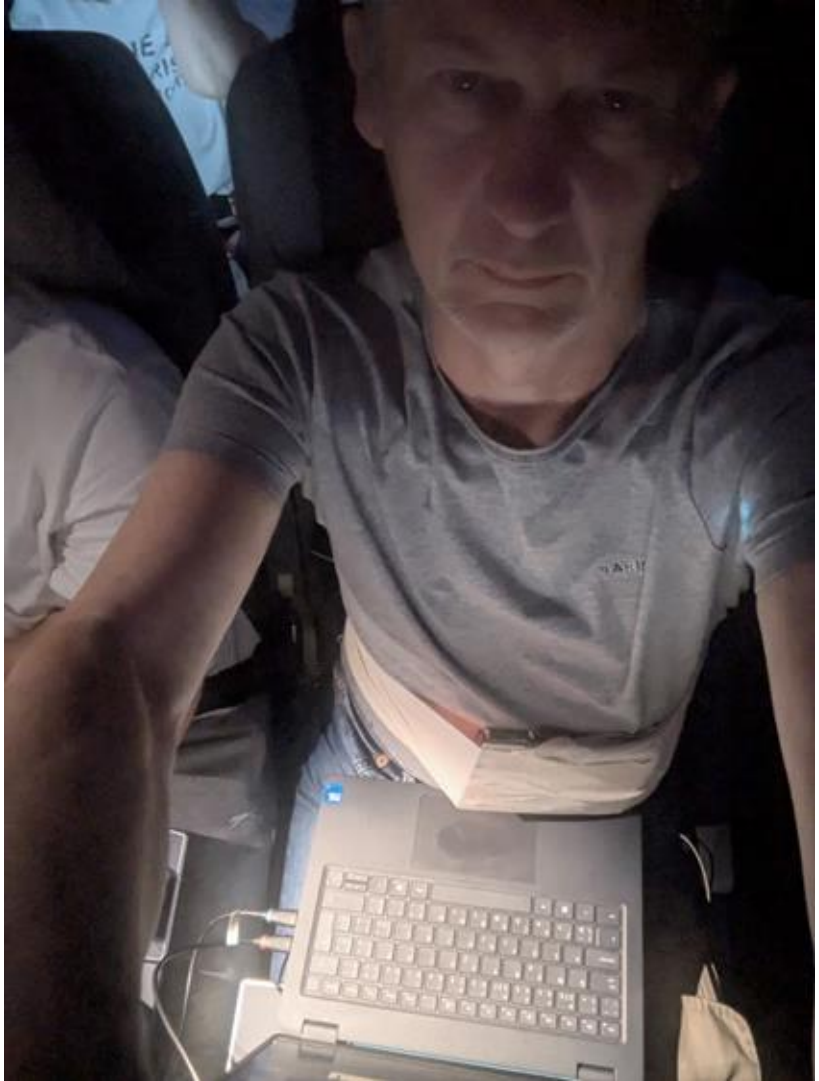




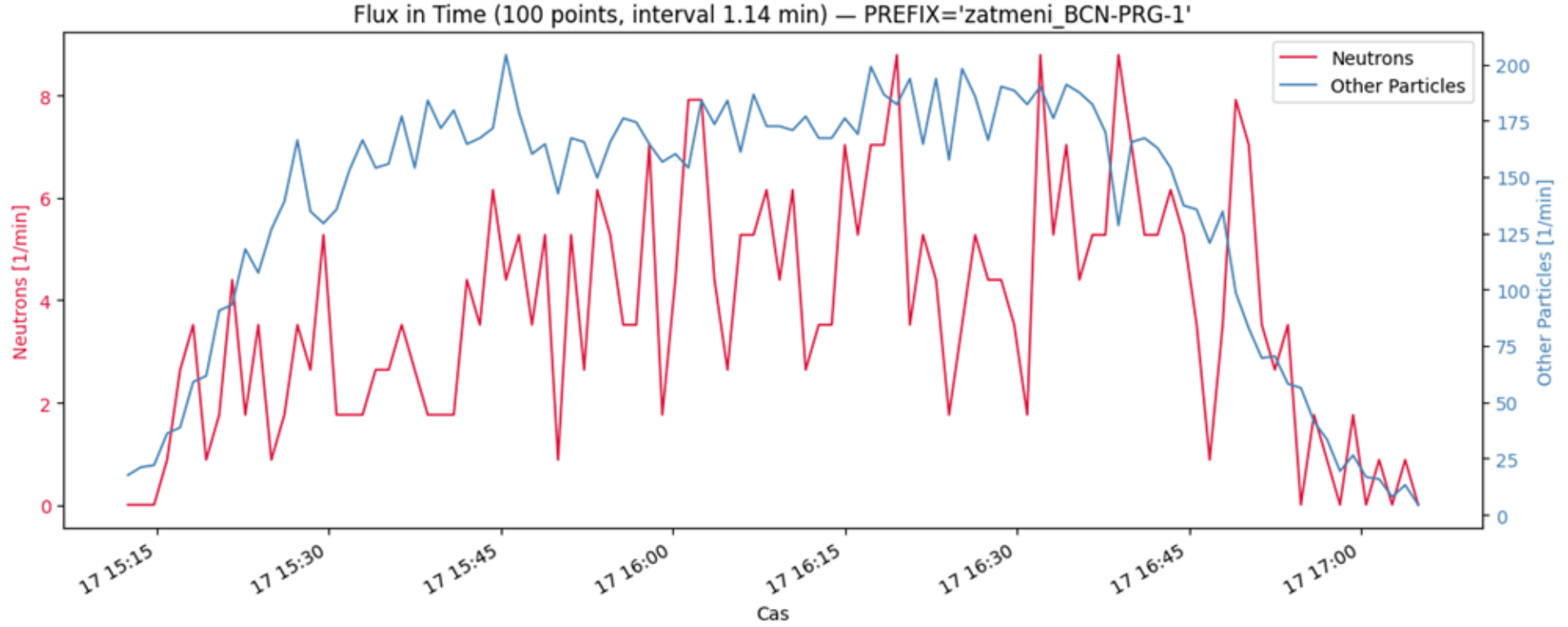


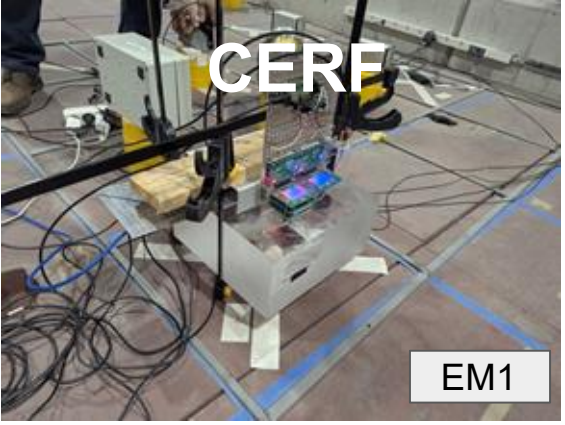
Aircraft


2D histogram — PREFIX='zatmeni_BCN-PRG-1' (1 files, 15929 events)
y = 0.6x
y = -100+0.4x
x = 2850
2nd sample with fixed delay (ADC steps)
Amplitude (ADC steps)
Counts
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
1000
2000
3000
4000
5000
10^0
10^1
10^2
10^3

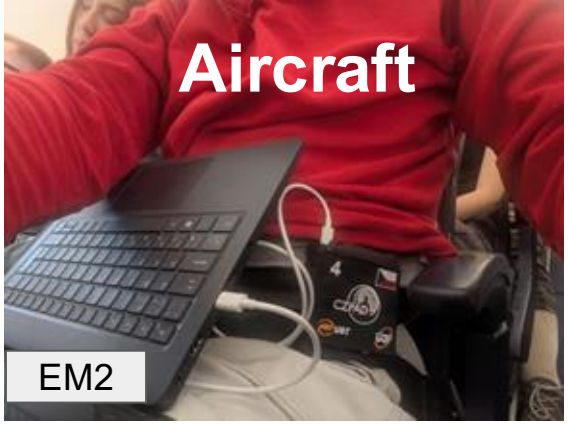


Aircraft


Flux in Time (100 points, interval 1.14 min) — PREFIX='zatmeni_BCN-PRG-1'
Neutrons
Other Particles
Neutrons [1/min]
Other Particles [1/min]
0
2
4
6
8
0
25
50
75
100
125
150
175
200
17 15:15
17 15:30
17 15:45
17 16:00
17 16:15
17 16:30
17 16:45
17 17:00
Cas

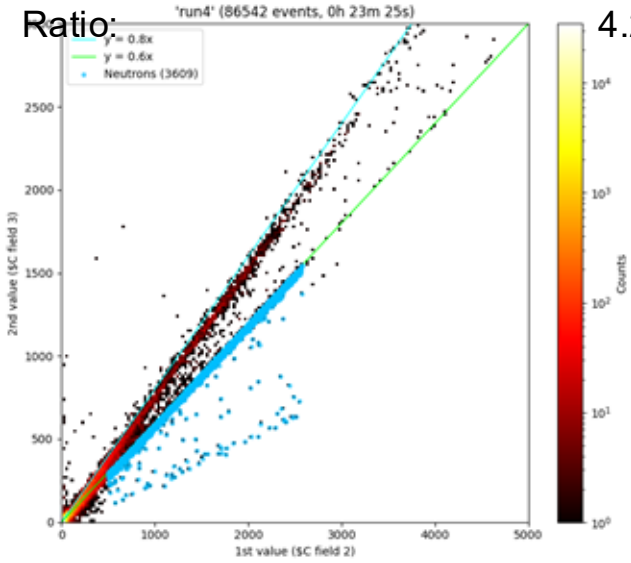


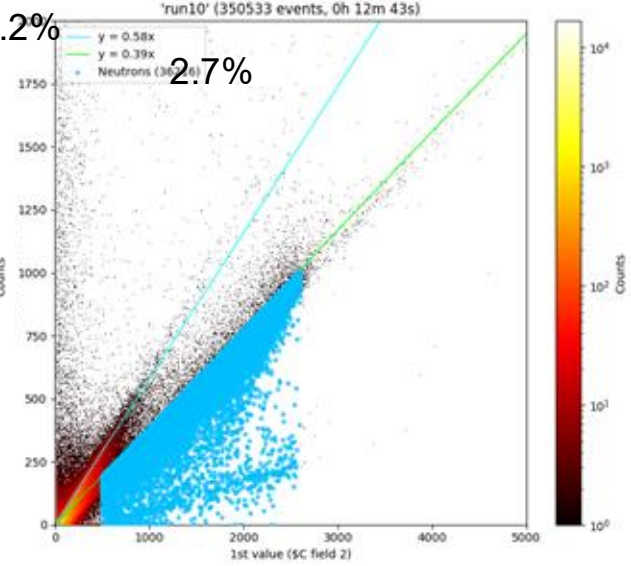


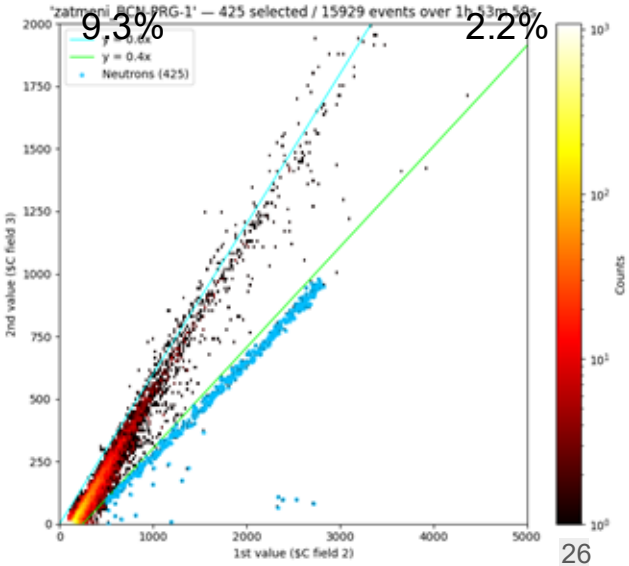


Neutron flux / $cm^{-2}s^{-1}$: 0.3 5.5 13.3

Ratio: 0.008 4.2% 2.7% 9.3% 2.2%

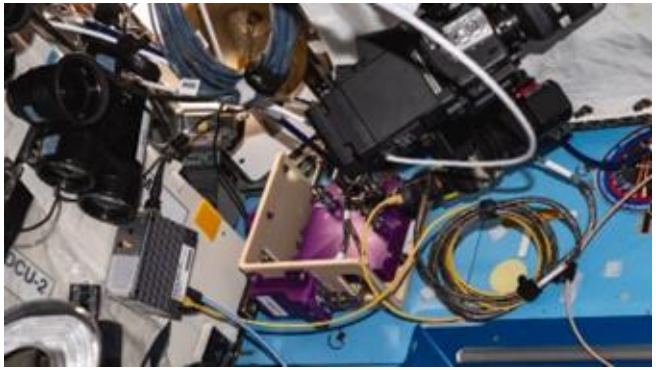


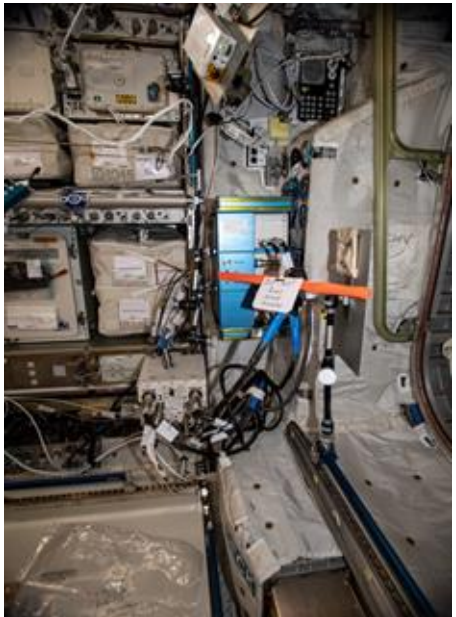




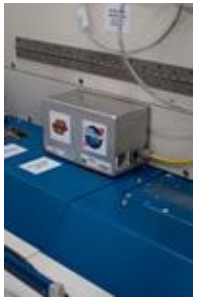
Collaboration and data sharing

- Comparison of data with other onboard devices during the Czech astronaut mission
- 2 or 3 units will remain on board of ISS













Follow-up Experiment Proposal

