Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

Scyntylatory do detekcji neutronów

Łukasz Świderski

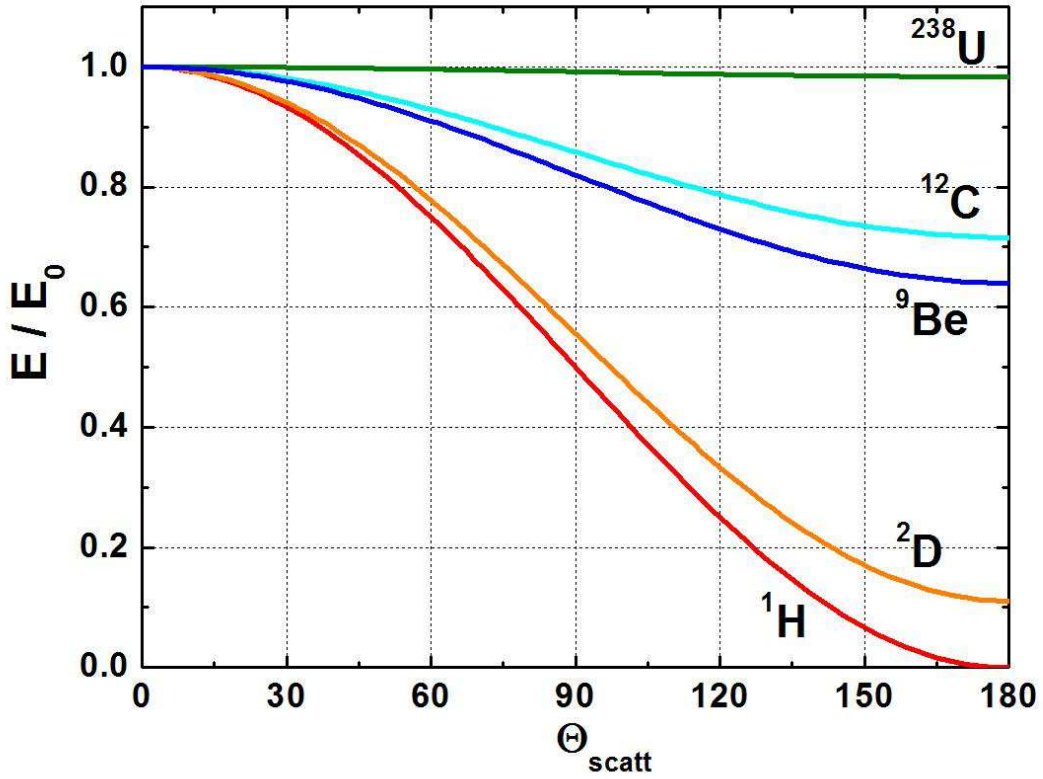
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Departament Technik Jądrowych i Aparatury
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

1. Metody detekcji neutronów

Neutrony prędkie: rozpraszanie elastyczne

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{2}\left\{1 + \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 + \left[1 - \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2\right]\cos\Theta_{scatt}\right\}$$



dla ^1H:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1 + \cos\Theta_{scatt}}{2}$$

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

1. Metody detekcji neutronów

Neutrony prędkie:
rozpraszanie nieelastyczne
- reakcje (n,n`γ)
- reakcje (n,p) i (n,α)
prowadzące do rozpadu β^-

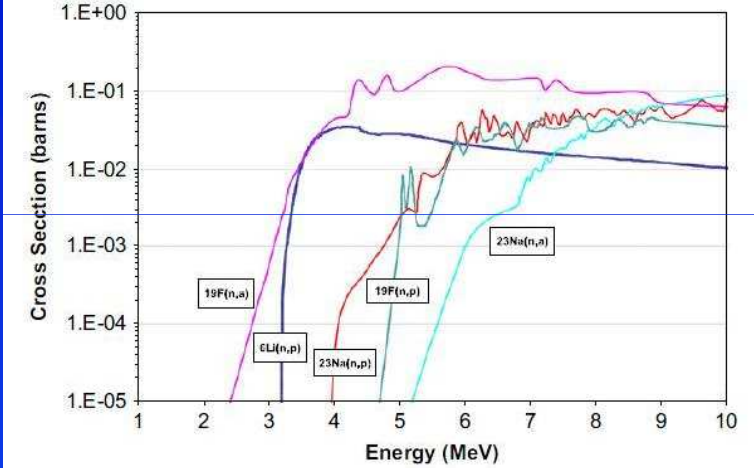


Fig. 2. Fast neutron cross-sections for threshold activation reactions in some TAD materials.

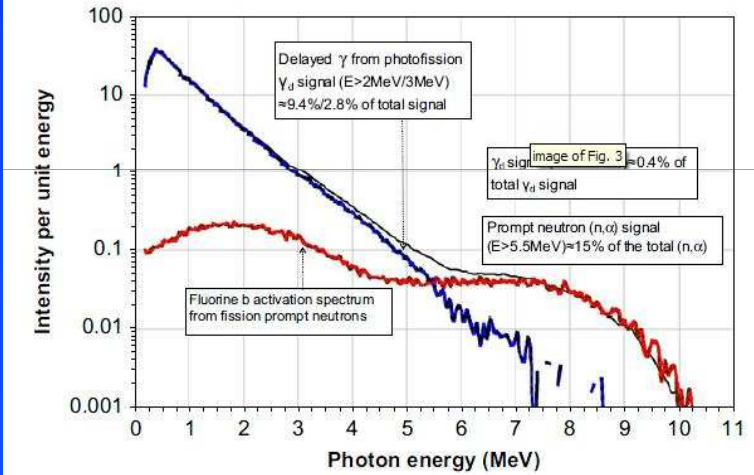


Fig. 3. Fission prompt neutrons and delayed gamma rays as detected in FC detector between short pulses of 9 MV Bremsstrahlung X-rays.

T. Gozani *et al.*, NIM A652 (2010) 334-337
„Neutron threshold activation detectors (TAD) for the detection of fissions"

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

1. Metody detekcji neutronów

Neutrony wolne – wychwyt na:

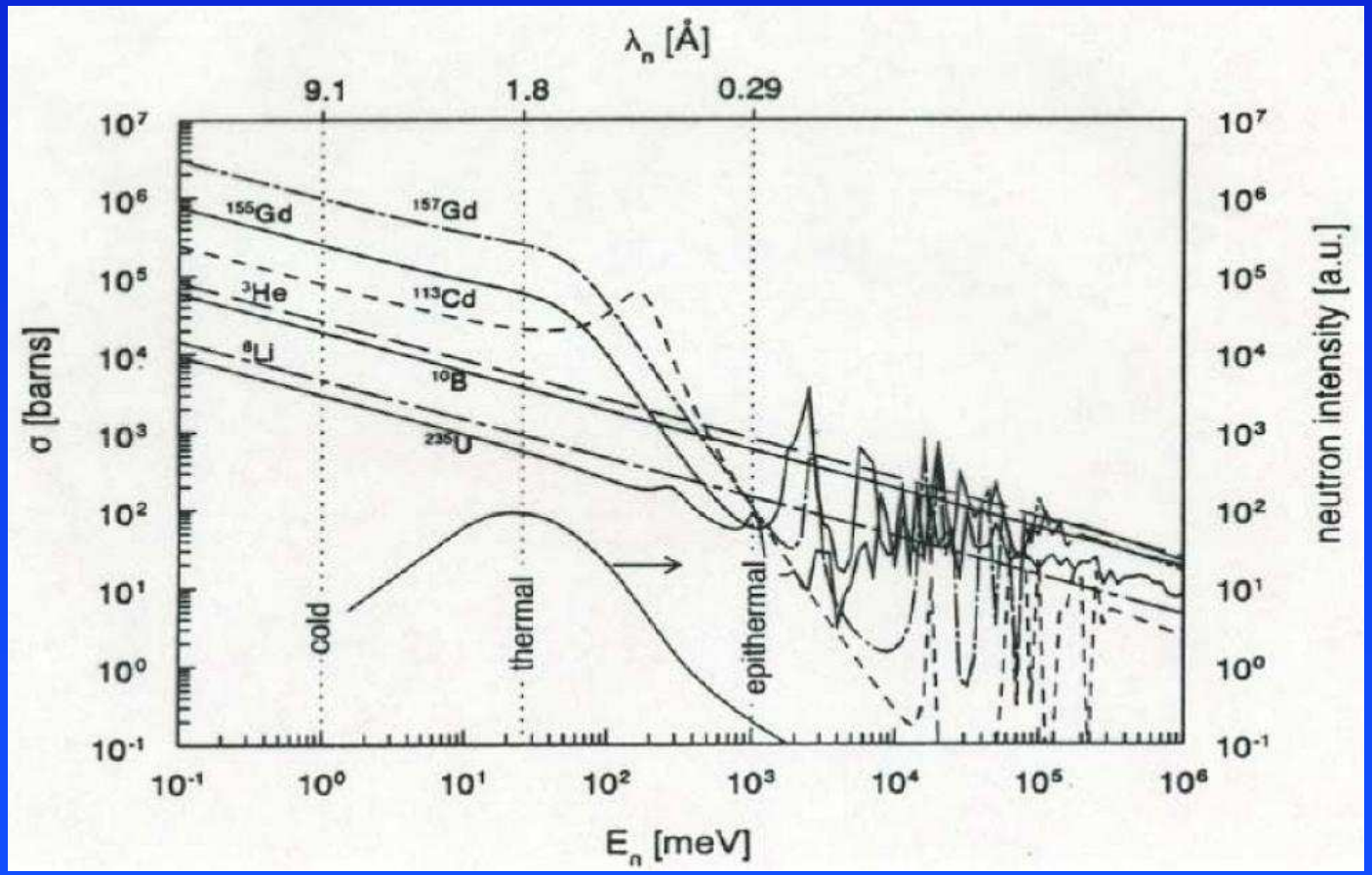
- He-3 $^{3}He + n \rightarrow p + {}^{3}H$ (Q = 764 keV)
- Li-6 $^{6}Li + n \rightarrow \alpha + {}^{3}H$ (Q = 4.8 MeV)
- B-10 $^{10}B + n \rightarrow \alpha + {}^{7}Li + \gamma$ (482 keV) (Q = 2.3 MeV)
- Gd-157 $^{157}Gd + n \rightarrow {}^{158}Gd + \gamma$ (Σ = 8 MeV)

  $^{157}Gd + n \rightarrow {}^{158}Gd + Ce^{-}$ (72 keV)
- Cd-113 $^{113}Cd + n \rightarrow {}^{114}Cd + \gamma$ (Σ = 9 MeV)

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

1. Metody detekcji neutronów

Neutrony wolne – przekrój czynny na wychwyt:

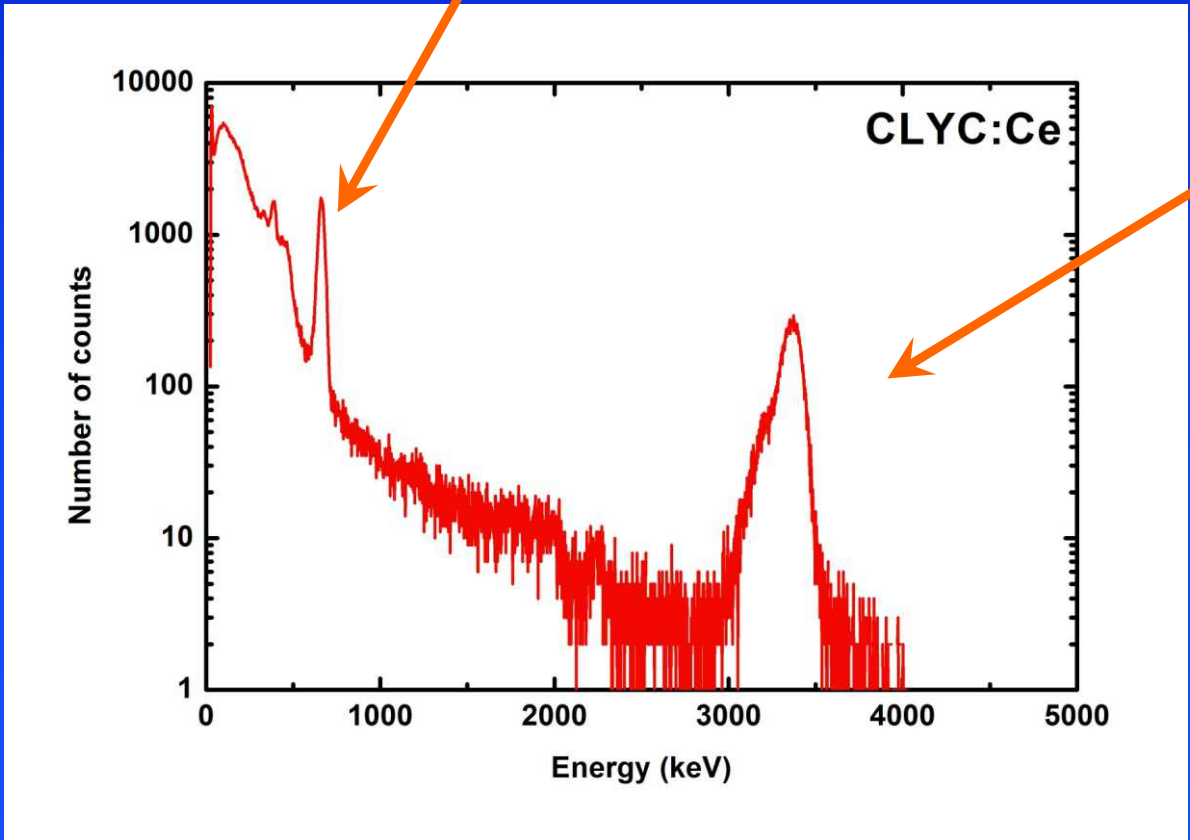


Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

Pulse Height Discrimination (PHD)

662 keV γ-rays

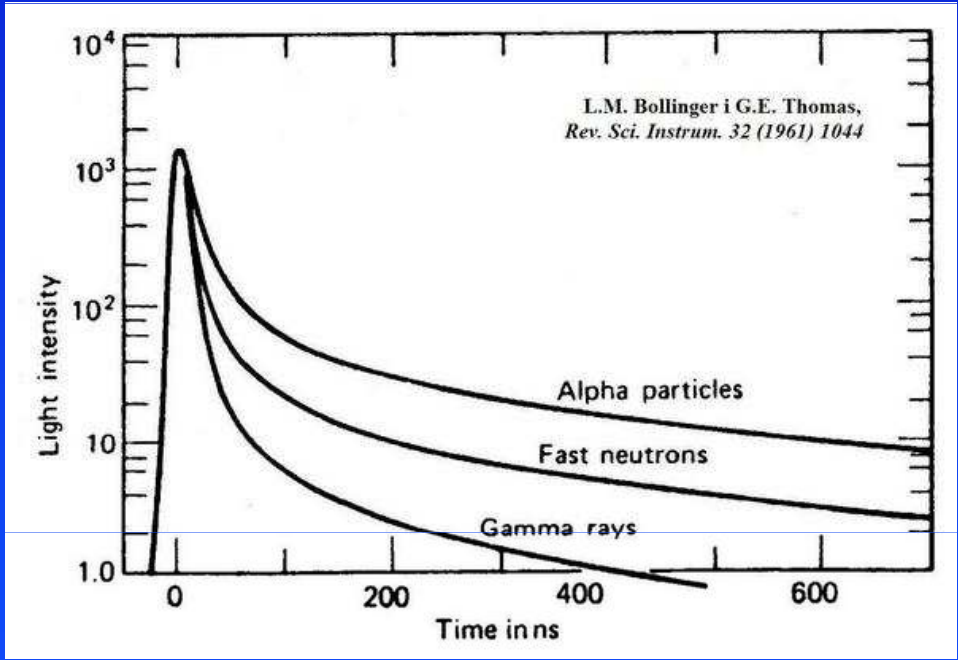
^{6}Li + n



Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

2. Metody dyskryminacji n/γ

Pulse Shape Discrimination (PSD)
charge integration (CI)



S.D. Clarke *et al.*, NIM A604 (2009) 618-623
„Neutron and gamma-ray cross-correlation measurements of plutonium oxide powder”

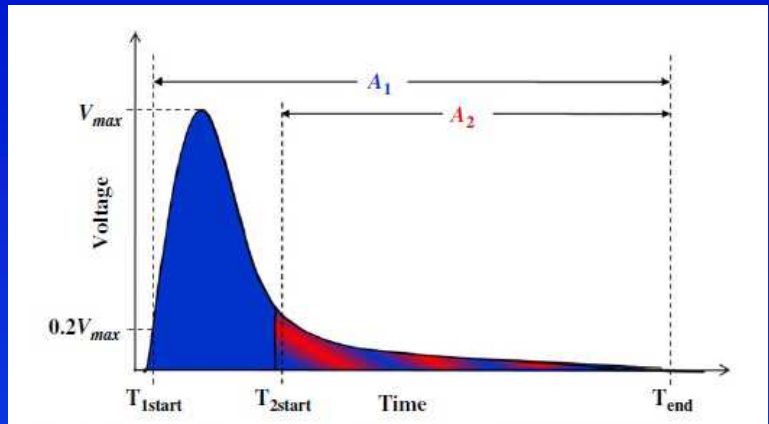


Fig. 2. Illustration of the pulse shape obtained from the EJ-309 liquid scintillator. The total integral (A_1) and tail integral (A_2) are computed for each pulse and used for classification as a neutron or gamma ray. Pulse timing was achieved by measuring the time at which the pulse reaches 20% of the pulse amplitude.

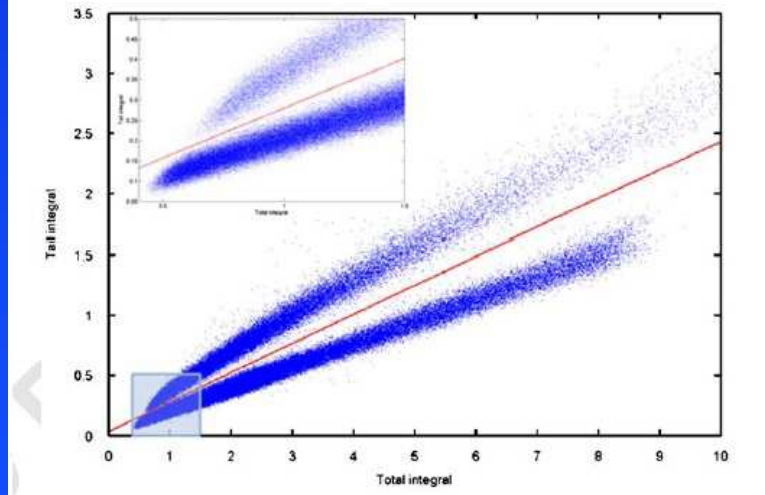
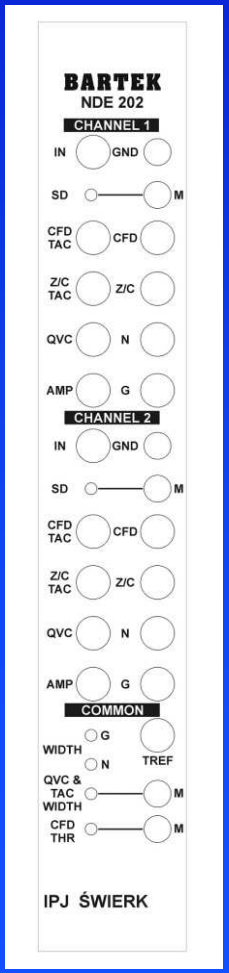


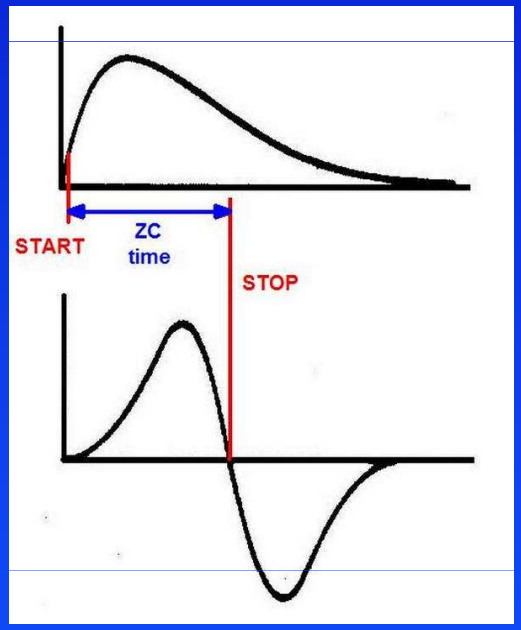
Fig. 3. Tail and total pulse integrals for measured pulses from a 500-g, low-burnup PuO_2 sample. The discrimination line is shown: pulses above the line are classified as neutrons and below the line as gamma rays. The low-energy region is shown in the inset.

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

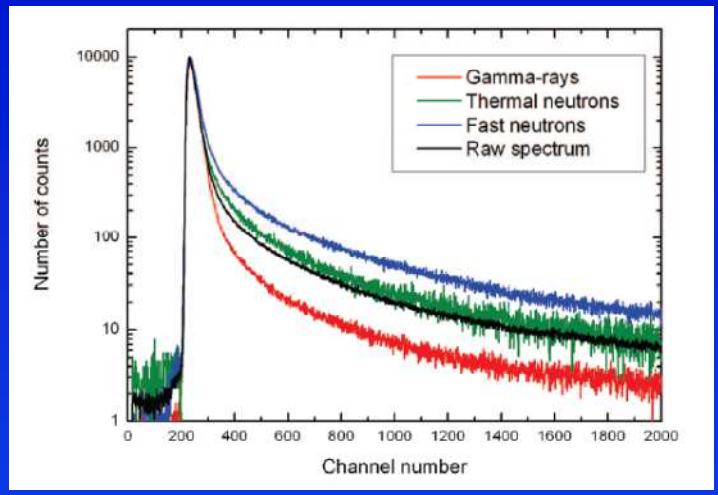
2. Metody dyskryminacji n/γ

Pulse Shape Discrimination (PSD)
zero-crossing (ZC)

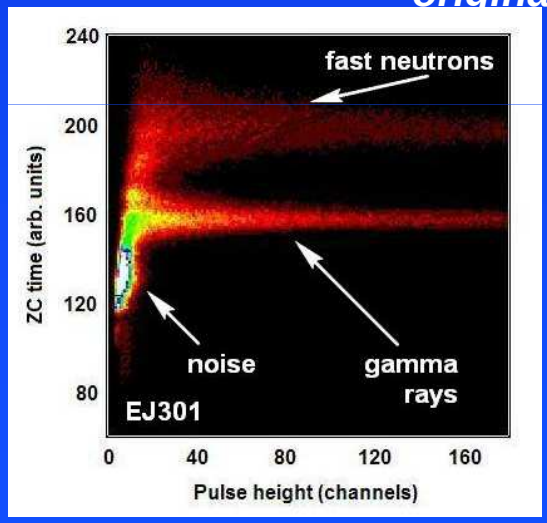


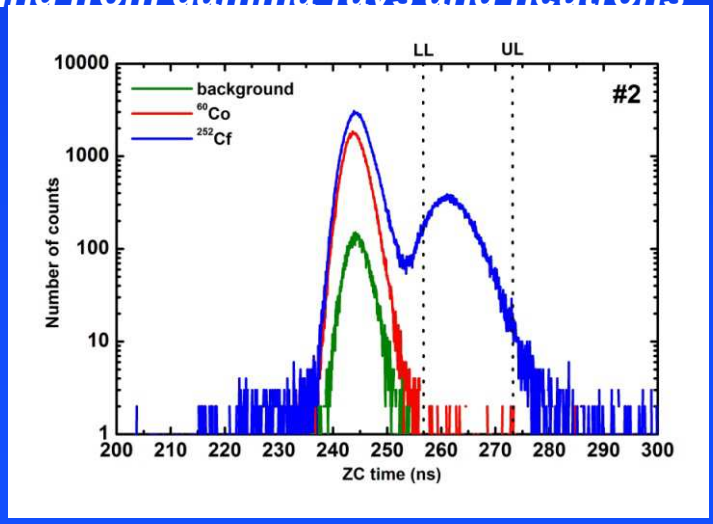


EUROBALL Neutron Detector Electronics
BARTEK NDE 202



T. Szczęśniak *et al.*, TNS 57 (2010) 3846-3852
„Light pulse shapes in liquid scintillators originating from gamma-rays and neutrons”





Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

Pulse Shape Discrimination
ZC vs CI

$$FOM = \frac{centr_n - centr_\gamma}{FWHM_\gamma + FWHM_n}$$

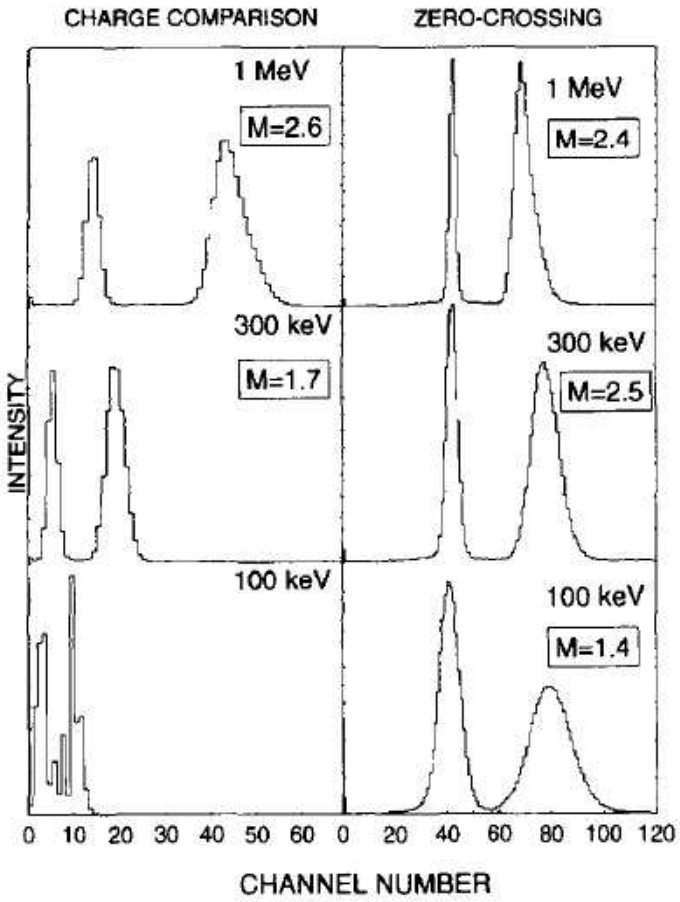


Fig. 6. Comparison of the n–γ discrimination spectra for gates set at 1 MeV, 300 keV and 100 keV selected from the 2D spectra presented in Fig. 5 for the charge comparison (left) and the zero-crossing (right) methods respectively.

D. Wolski *et al.*, NIM A360 (1995) 584-592
„Comparison of n-γ discrimination by zero-crossing and digital charge comparison methods”

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

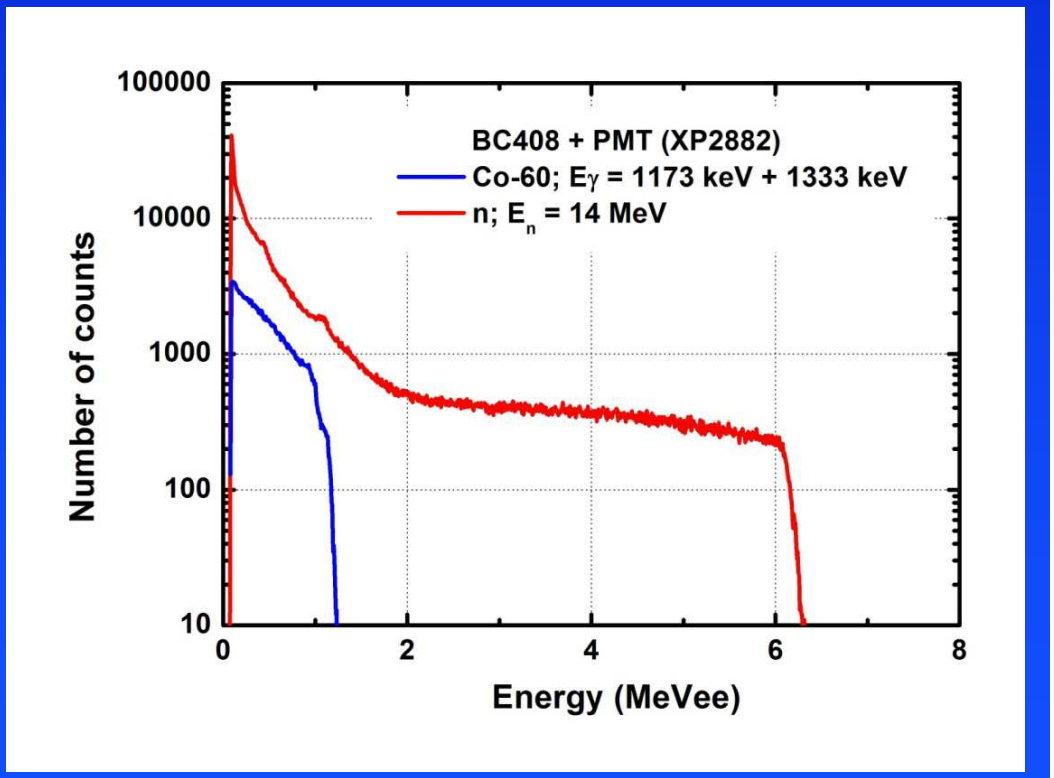
3. Scyntylatory: plastiki

BC408 Saint-Gobain Crystals

plastik 5x5x5 mm³ + fotopowielacz

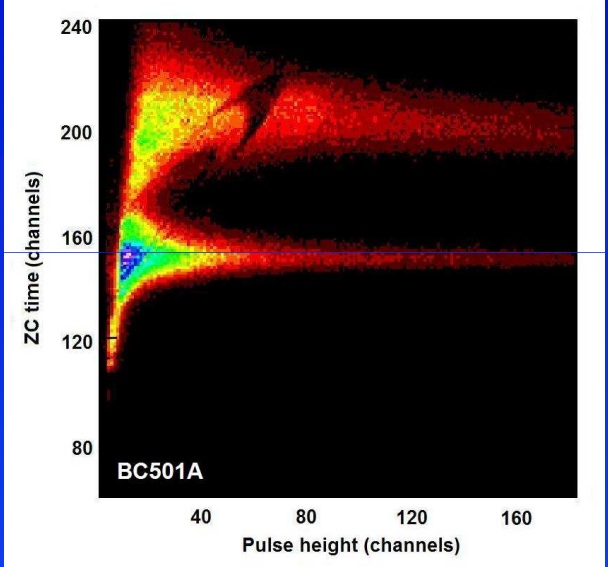
neutrony – rozpraszanie elastyczne, zasięg protonów odrzutu ~μm

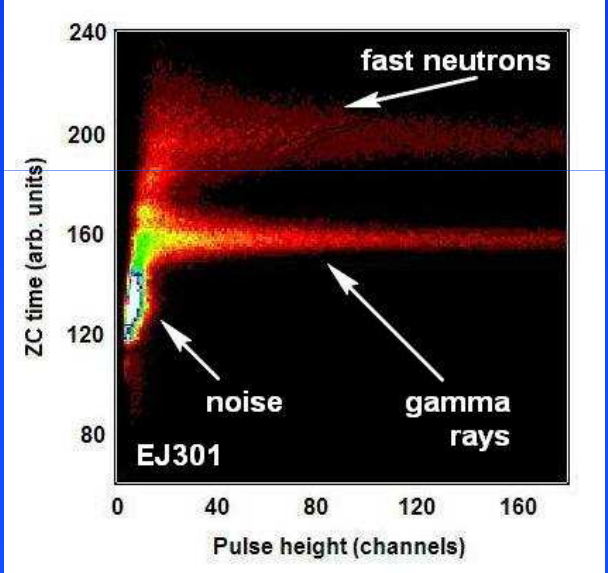
elektrony – rozpraszanie Comptona, zasięg elektronów odrzutu ~mm



Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

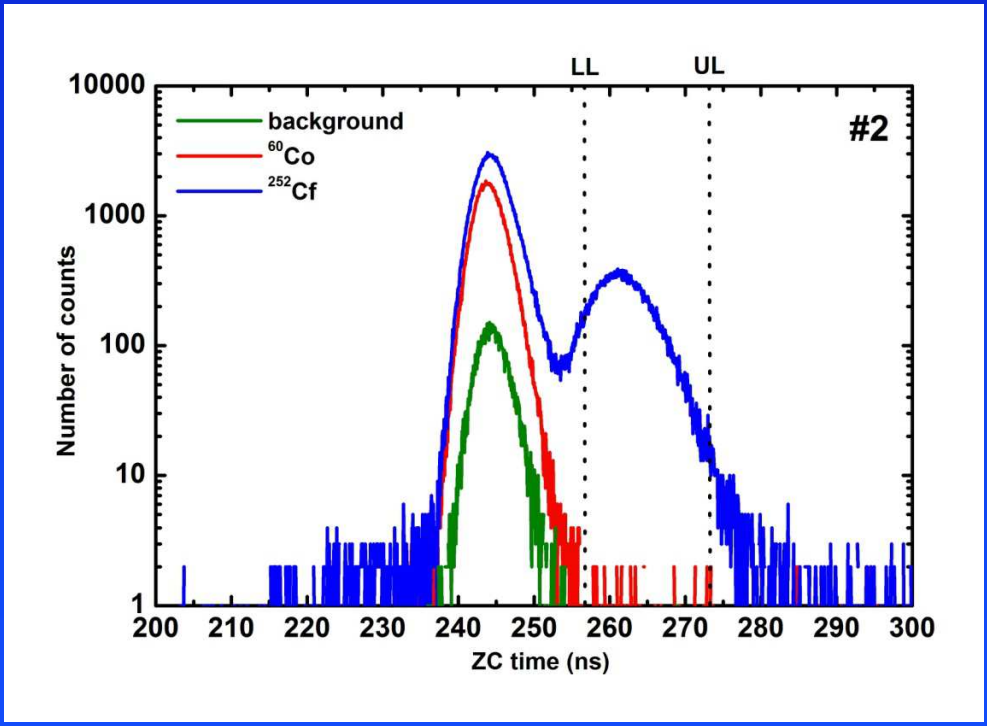
3. Scyntylatory: ciekłe scyntylatory





BC501-EJ301-NE213

Saint-Gobain Crystals



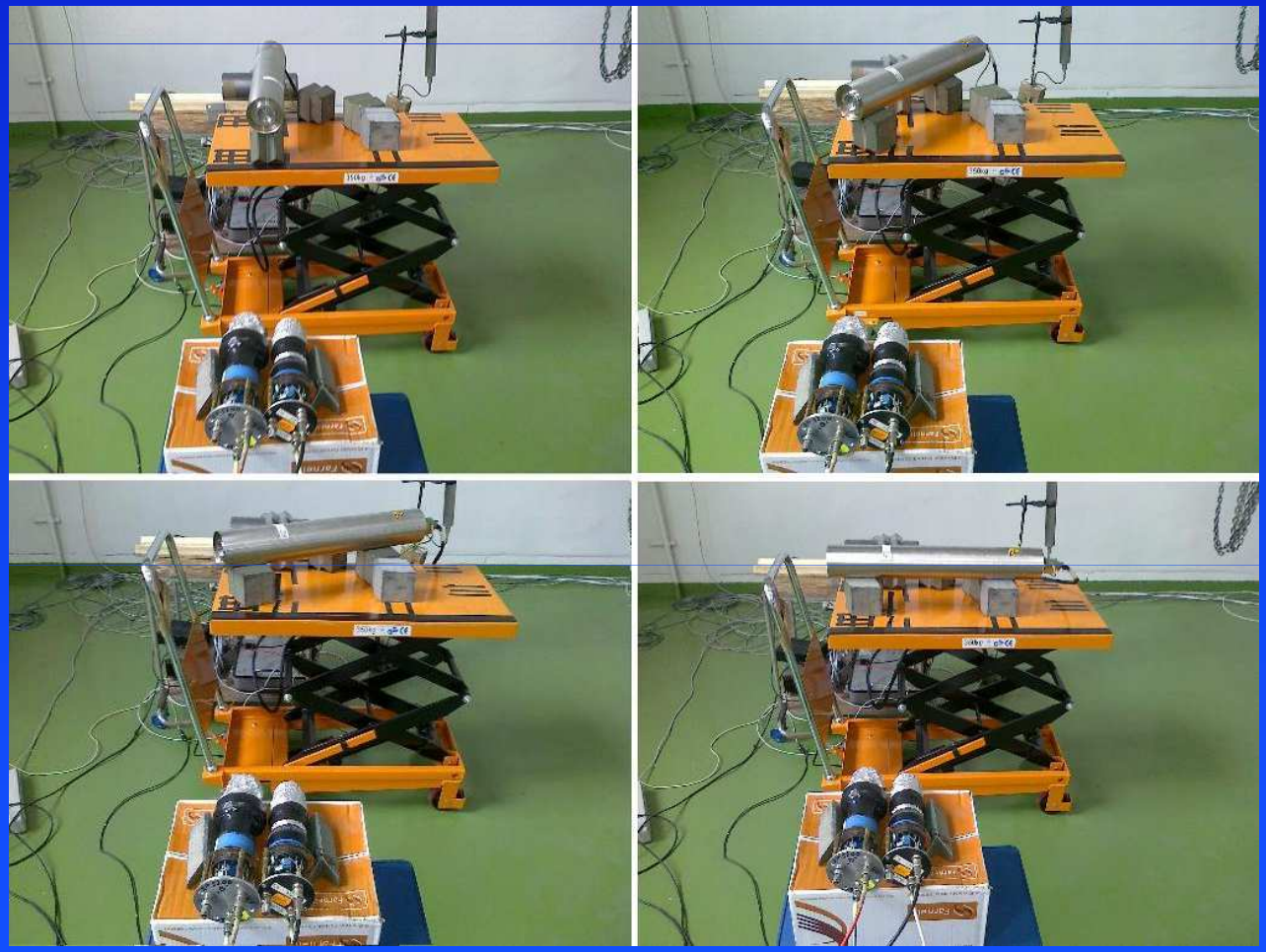
Scionix Holland B.V. / Eljen Technologies Inc.

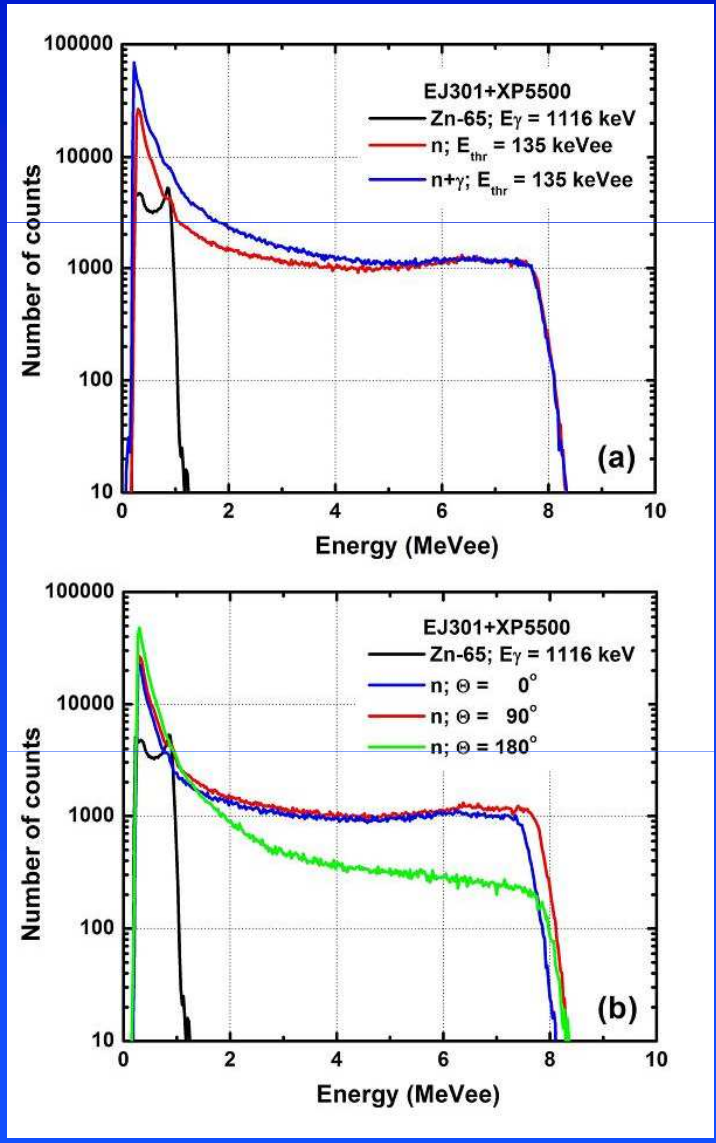
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory: ciekłe scyntylatory

EJ301

Scionix Holland B.V. / Eljen Technologies Inc.

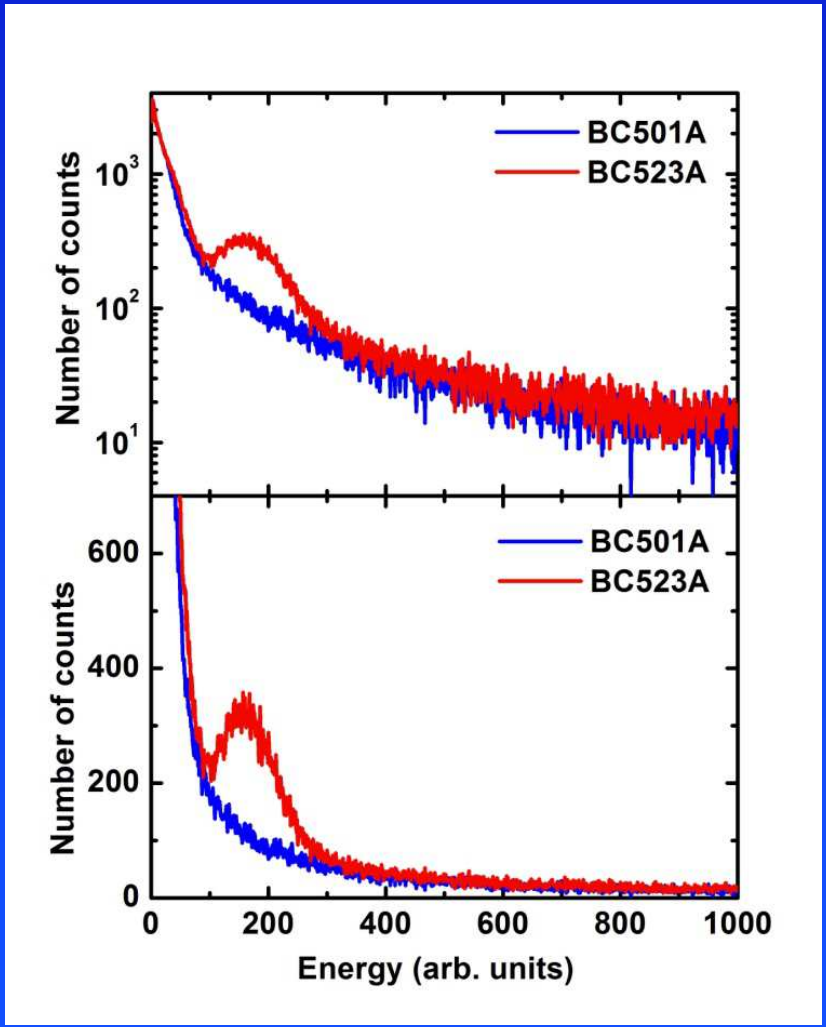




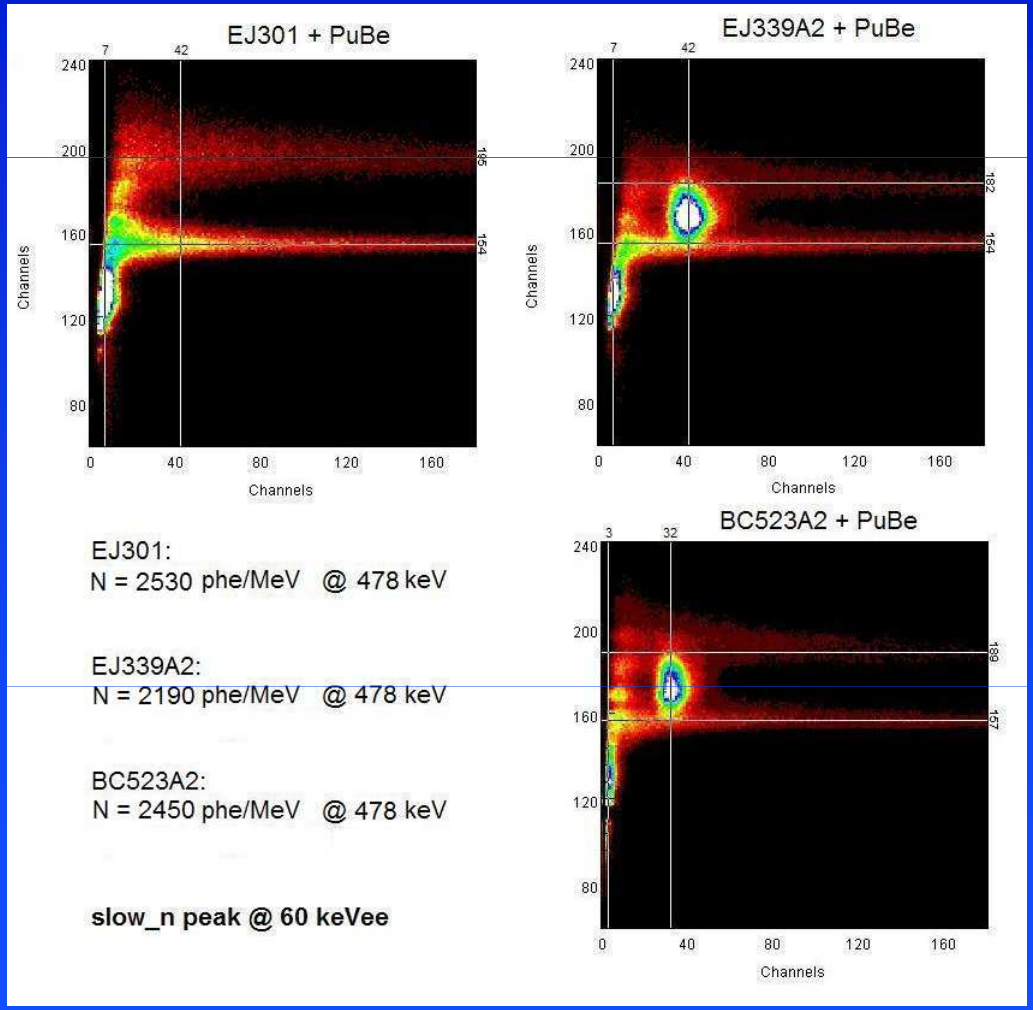
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory: ciekłe scyntylatory

BC523A2-EJ339A2



Scionix Holland B.V. / Eljen Technologies Inc.

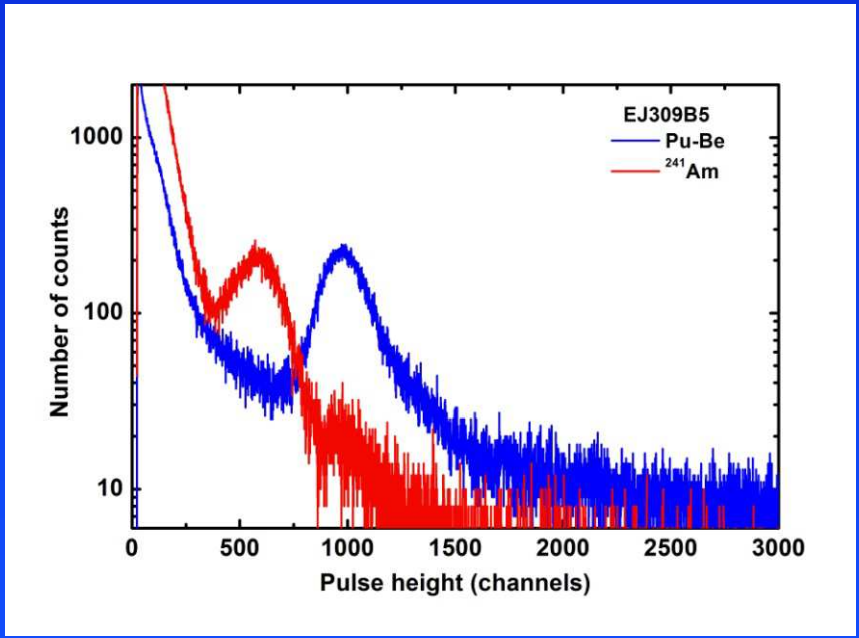


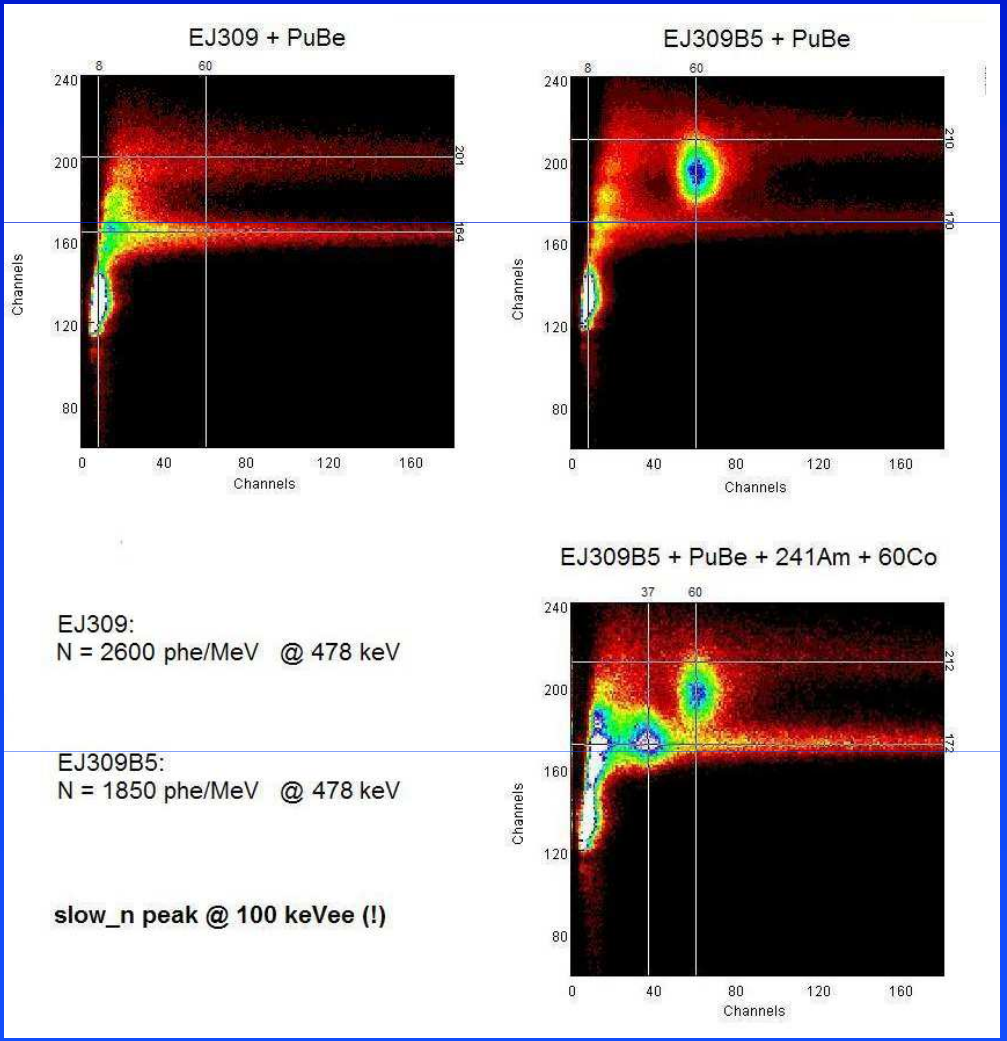
Saint-Gobain Crystals

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory: ciekłe scyntylatory

EJ309-EJ309B5
ciekły scyntylator wysokotemperaturowy



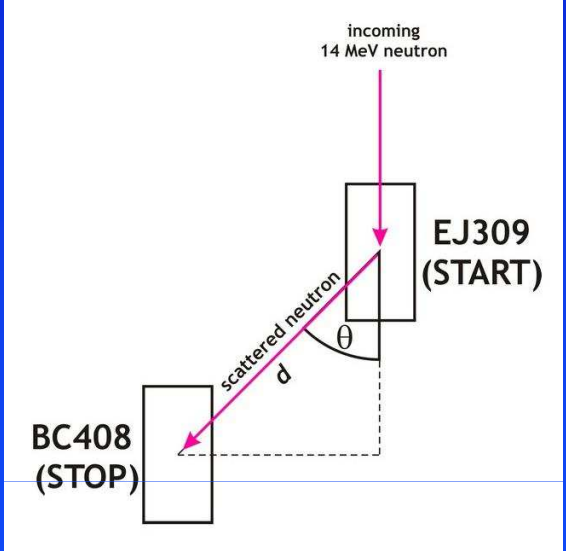


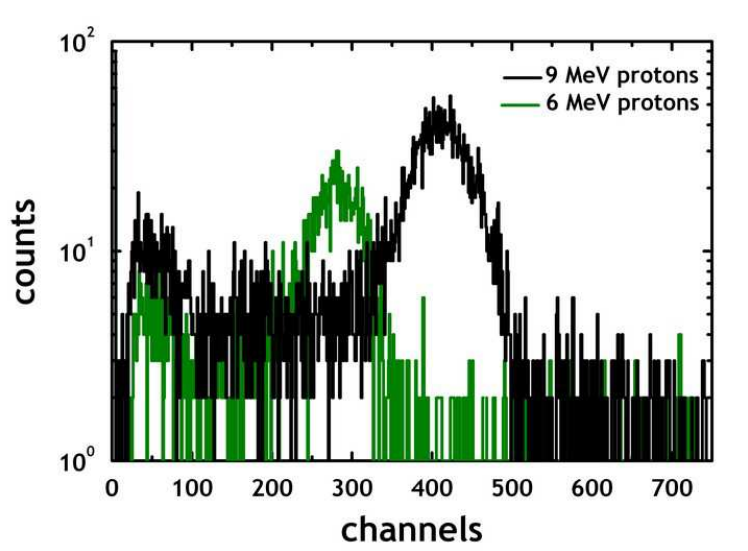
Scionix Holland B.V. / Eljen Technologies Inc.

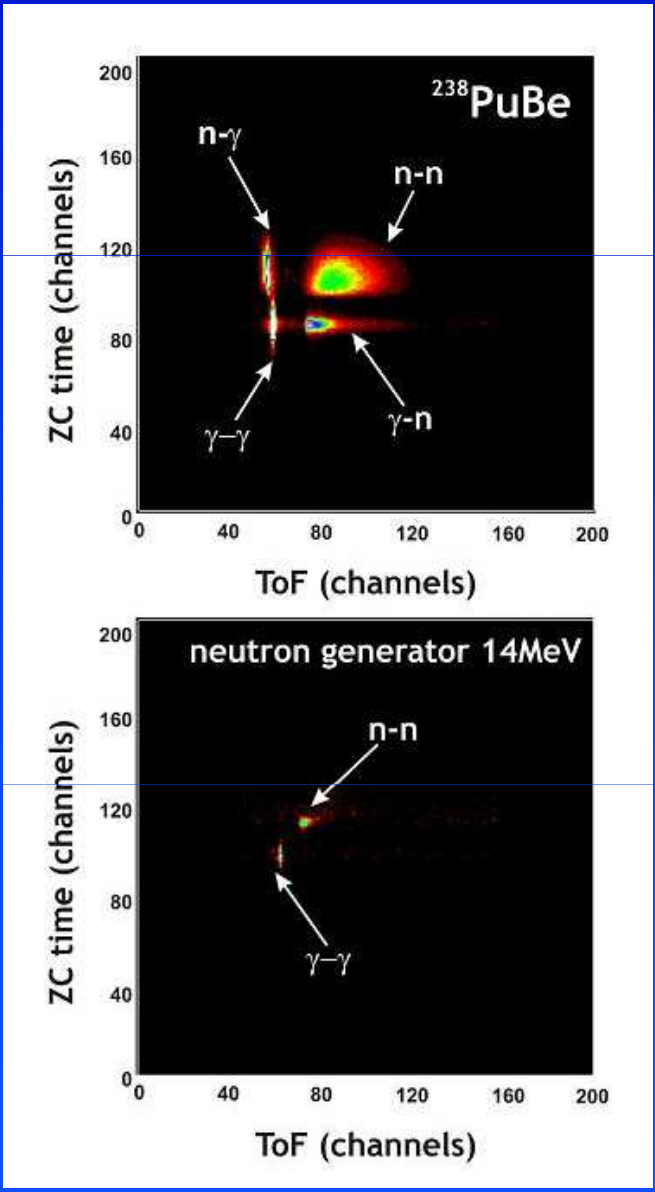
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory: ciekłe scyntylatory

EJ309:
kalibracja energetyczna odpowiedzi na neutrony







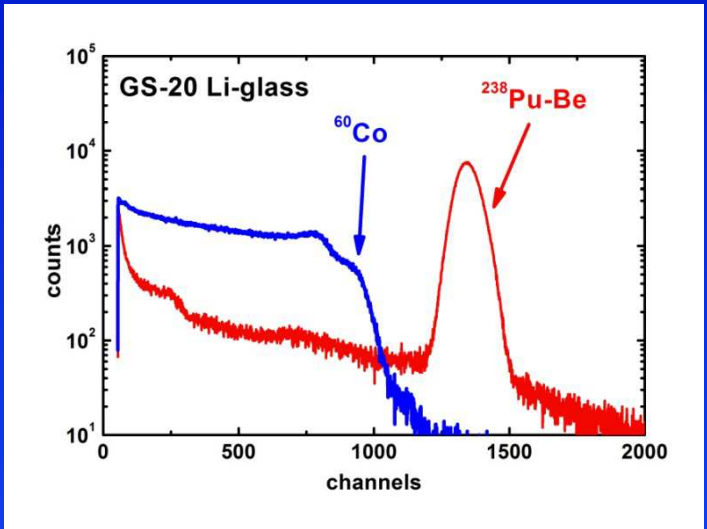
J. Iwanowska *et al.*, 2012 IEEE NSS-MIC Conf. Rec. N1-67
„Calibration of EJ309 liquid scintillator for neutron spectrometry”

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

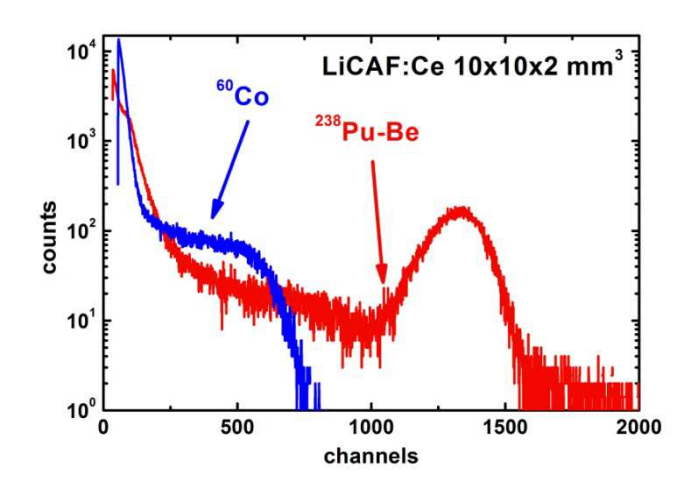
3. Scyntylatory: kryształy

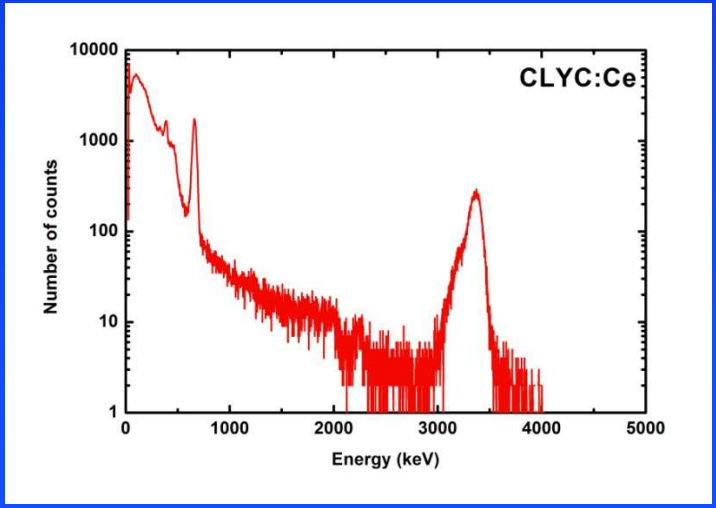
Saint-Gobain Crystals

GS-20 - LiCAF:Ce – CLYC:Ce



J. Iwanowska *et al.*, NIM A652 (2011) 319-322
„Thermal neutron detection with Ce^{3+} doped $LiCaAlF_6$ single crystals”





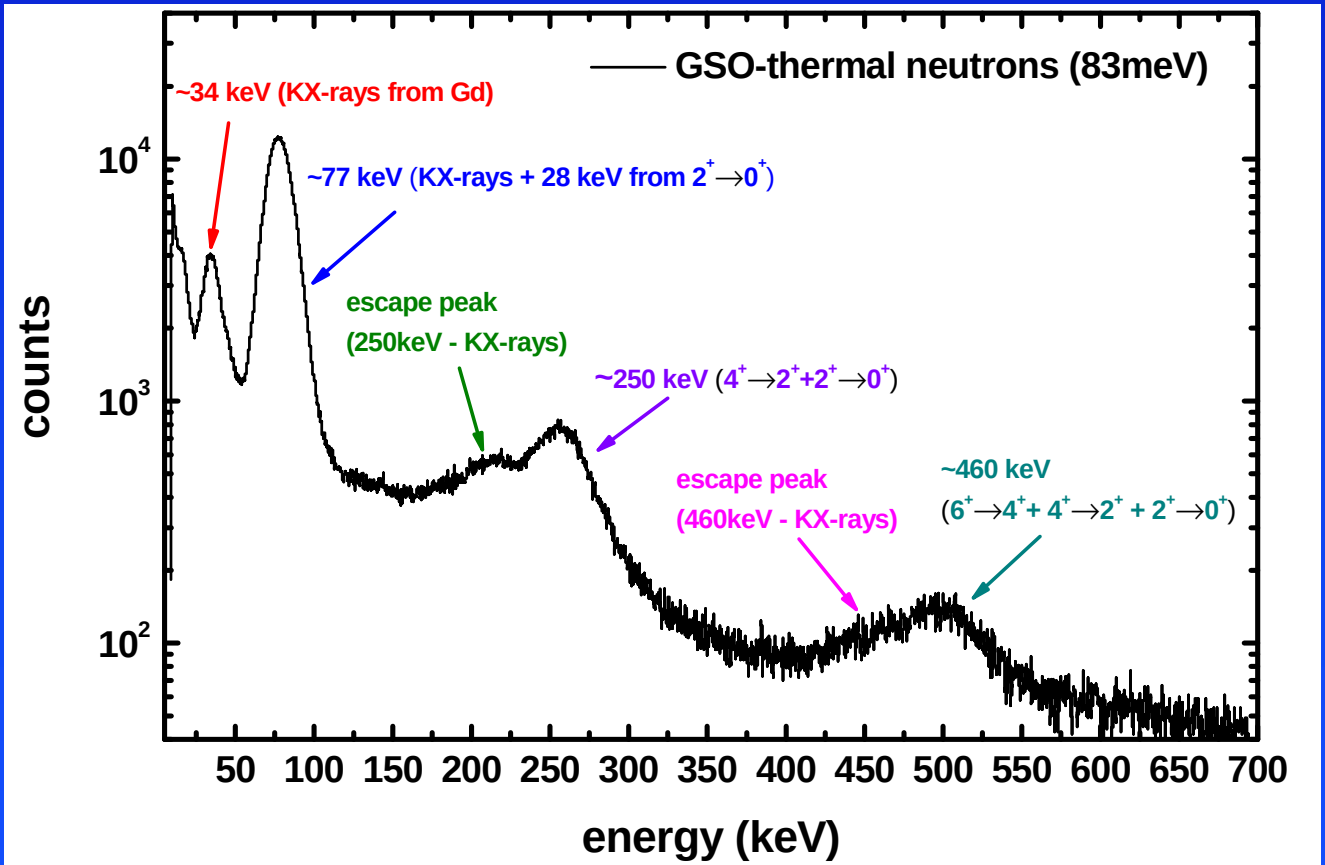
Tokuyama

RMD Inc. / FLIR Radiation GmbH

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory: kryształy

GSO:Ce – GAGG:Ce
detekcja elektronów konwersji wewnętrznej



Gd_2SiO_5:Ce

$Gd_3Al_3Ga_2O_{12}$:Ce

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

3. Scyntylatory gazowe

He-4 gas scintillator:

p = 200 bar (!)
low γ–ray sensitivity
n/γ discrimination

JINST
PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB
RECEIVED: *January 9, 2012*
ACCEPTED: *February 20, 2012*
PUBLISHED: *March 19, 2012*

2nd INTERNATIONAL WORKSHOP ON FAST NEUTRON DETECTORS AND APPLICATIONS,
NOVEMBER 6–11 2011,
EIN GEDI, ISRAEL

Fast neutron detection with pressurized ^{4}He scintillation detectors

R. Chandra,[a,1] G. Davatz,[a,b] H. Friederich,[a,b] U. Gendotti[a] and D. Murer[a,b]

[a]*Arktis Radiation Detectors Ltd,*
Technoparkstrasse 1, 8005 Zurich, Switzerland
[b]*ETH Zurich, Institute for Particle Physics,*
Schafmattstrasse 20, 8093 Zurich, Switzerland

E-mail: rico.chandra@arktis-detectors.com

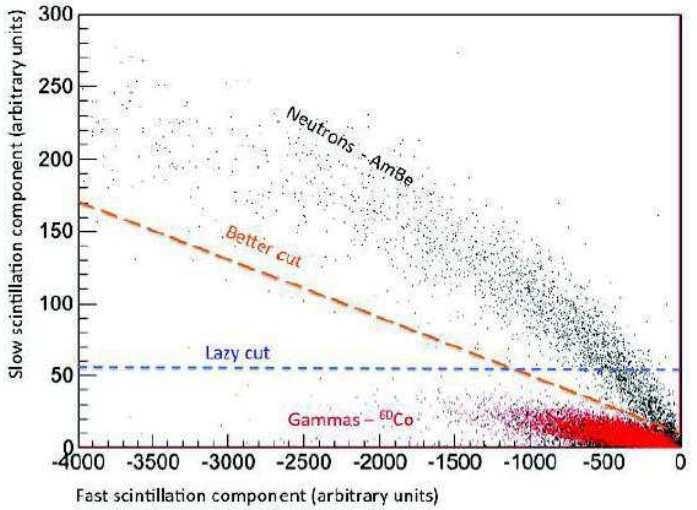


Figure 4. Scintillation signals from neutron interactions can be distinguished from gamma interactions on the basis of the larger ratio of photons in the slow scintillation component. The dotted lines notionally show the cuts described in the text.

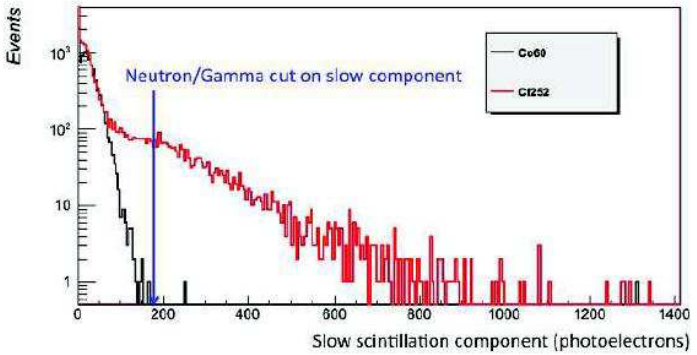


Figure 5. Histogram of the number of detected slow component photons from a ^{60}Co gamma source placed in contact with the detector (black entries) and a ^{252}Cf source (red entries). The "lazy cut" sacrifices neutron detection efficiency.

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

4. Podsumowanie

Scyntylatory do detekcji neutronów

Kryształy
- CLYC:Ce
- LiI:Eu
- GSO:Ce
- GAGG:Ce

Plastiki
- BC408
- EJ299 (z rozróżnianiem n/g!)
- stilbene, p-terphenyl (kompozyty)
- GS-20 (szkło scyntylacyjne)

Ciekłe scyntylatory
- BC501A-EJ301
- BC523A-EJ339A (B-10 loaded)
- EJ309 (high flash point)
- EJ309B5 (B-10 loaded)
- EJ-313 (Fluorine Carbon)

Scyntylatory Gazowe
- He-4

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Detektorów (TJ3)
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock-Świerk

Dziękuję za uwagę!