

Концепция светосильного радиационного портального монитора с возможностью электронной коллимации

Ковтун В.Е.

**Харьковский национальный университет
им. В.Н.Каразина,**

ООО «Радионуклиды и электронные системы»

Применение



Радиационный порталный монитор (RPM)

- **IAEA-TECDOC-1311** – “Предотвращение непреднамеренного перемещения и незаконного оборота радиоактивных материалов”,
<http://www.iaea.org/>
- **IAEA-TECDOC-1312** – “Обнаружение радиоактивных материалов на границе”,
<http://www.iaea.org/>
- **ANSI N42.35-2004** – “Радиационные порталные мониторы для использования на границе”, <http://www.ansi.org/>
- **ASTM C1112-93** – “Требования к автоматизированным радиационным мониторам персонала (пассажиров)”,
<http://www.astm.org>
- **ГОСТ Р51635-2000** – “Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические требования”,
<http://www.gost.ru/wps/portal/>
- ...

Детектор

γ – канал

- **Пластмассовый сцинтиллятор**
- ФЭУ (1,2)
- Дискриминатор (Am-241)
- Счётчик

n – канал

SNM (специальные ядерные материалы)

- ^{233}U , ^{235}U , ^{237}Np , ^{239}Pu , Обогащённый U, Природный U, Обогащённый U, Реакторный Pu, Оружейный Pu

Подозрительные

- ^{232}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am

Естественная радиация (NORM)

- ^{40}K , ^{138}La , ^{226}Ra и дочерние продукты распада, ^{232}Th и дочерние продукты распада, ^{238}U

Медицинские

- ^{18}F , ^{51}Cr , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{89}Sr , ^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{103}Pd , ^{111}In , ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{131}Cs , ^{153}Sm , ^{201}Tl , ^{133}Xe

Промышленные

- ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{226}Ra , ^{204}Tl , ^{241}Am , ^{75}Se



ПРОБЛЕМА:

ложные срабатывания RPM
от естественной радиации
окружающей среды (NORM)
и радиации груза

Compton imager for detection of special nuclear material

Eric A. Wulf^{a,*}, Bernard F. Philips^a, W. Neil Johnson^a, James D. Kurfess^a,
Elena I. Novikova^a, Paul O'Connor^b, Gianluigi De Geronimo^b

^aNaval Research Laboratory, High Energy Space Environment Branch, 4555 Overlook Ave SW, Washington DC 20375, USA

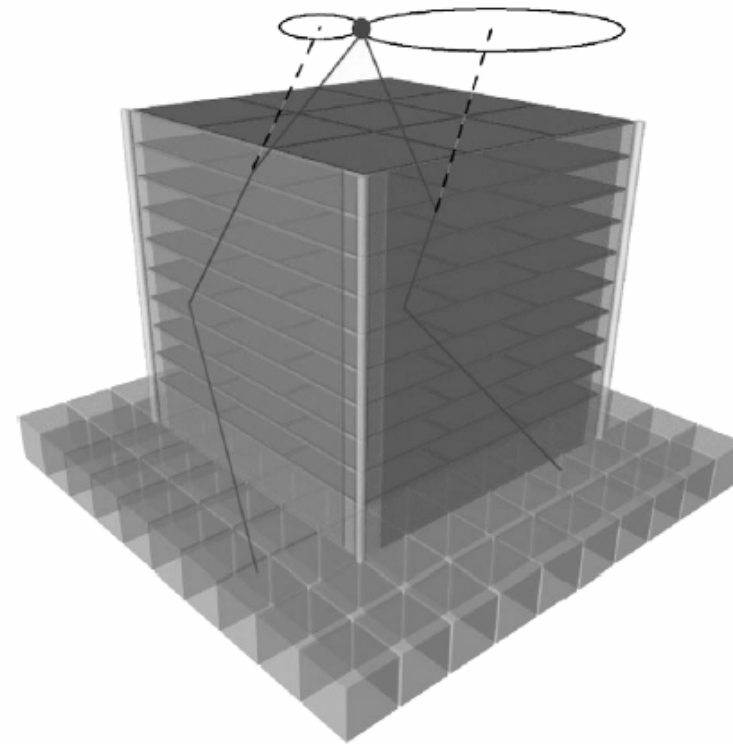
^bBrookhaven National Laboratory, Instrumentation Division, Upton, NY 11973, USA

■ **(NIM, A579, 2007, p. 371-374)**

NORM – 24x24 m²;

HEU – 2,5 m,

E = 2614 keV



Принципы комптоновской техники

- 1-й детектор (D1) – *рассеиватель (low Z)*
- 2-й детектор (D2) – *поглотитель (high Z)*
- **Отбор событий по совпадениям D1 и D2**
- **Позиционная чувствительность – (x,y) в D1, D2**
- **DAQ**

$$\cos \theta = 1 + 0.511(1/E_{\gamma 0} - 1/E_{\gamma 1}) ,$$

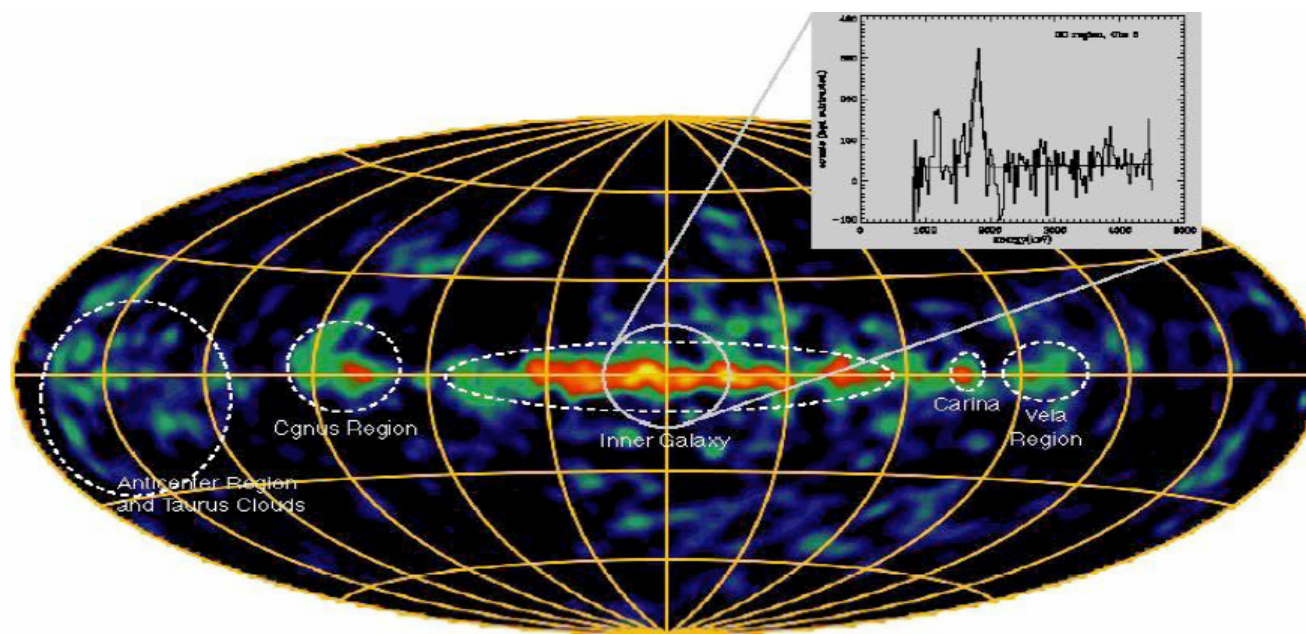
где

$E_{\gamma 1}$ – *D1 deposit energy*; $E_{\gamma 2}$ – *D2 deposit energy*;

$$E_{\gamma 0} = E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}$$

Коэффициент подавления фона

$$\text{MDA}_{\text{ec}}(Bq) = \text{MDA}(Bq) / \frac{N_{(\text{black})} + N_{(\text{red})}}{N_{(\text{red})}}$$



Принципы светосильного RPM:

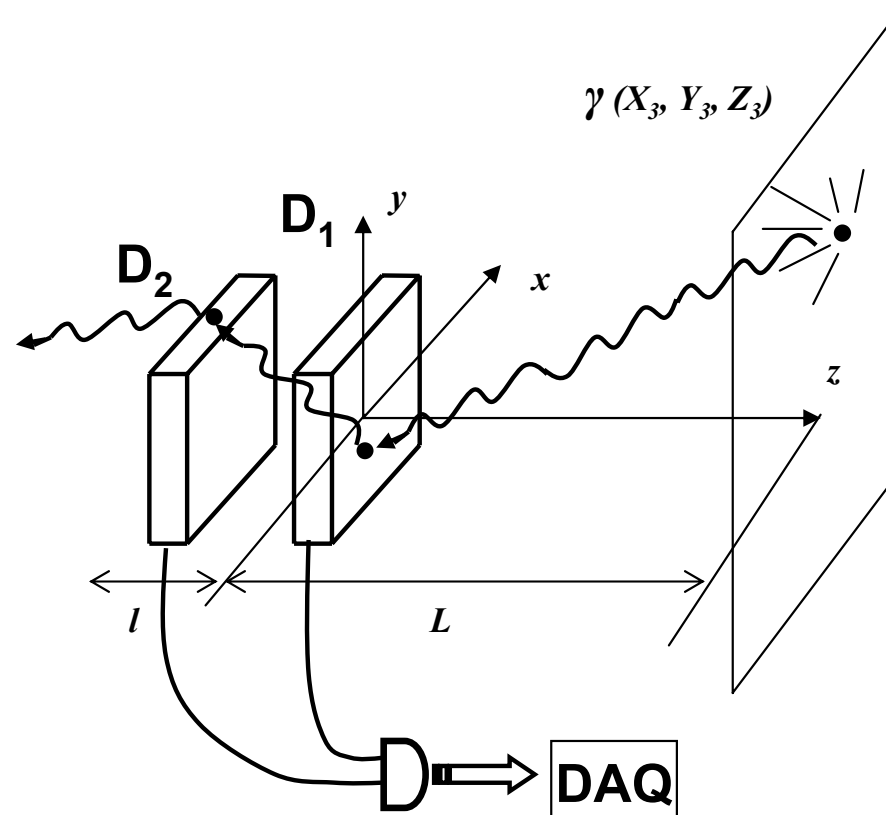
- Большая площадь => пластмассовый сцинтиллятор
- 2-й детектор (D2) => пластмассовый сцинтиллятор
- Позиционная чувствительность => однокоординатные стрипы-модули
- Измерение энергии в D1 => DAQ
- Определение полной энергии => DAQ
(математическая обработка, итерации, «фокусировка» и т.п.)

*) *DESIGN OF NEW GENERATION RADIATION PORTAL
BASED ON LARGE AREA PLASTIC SCINTILLATOR
V.N.Dubina and V.E.Kovtun
2 International Conference
Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy
(NPAE-Kyiv2008)*

Монте-Карло модель RPM: GEANT4, MCNP

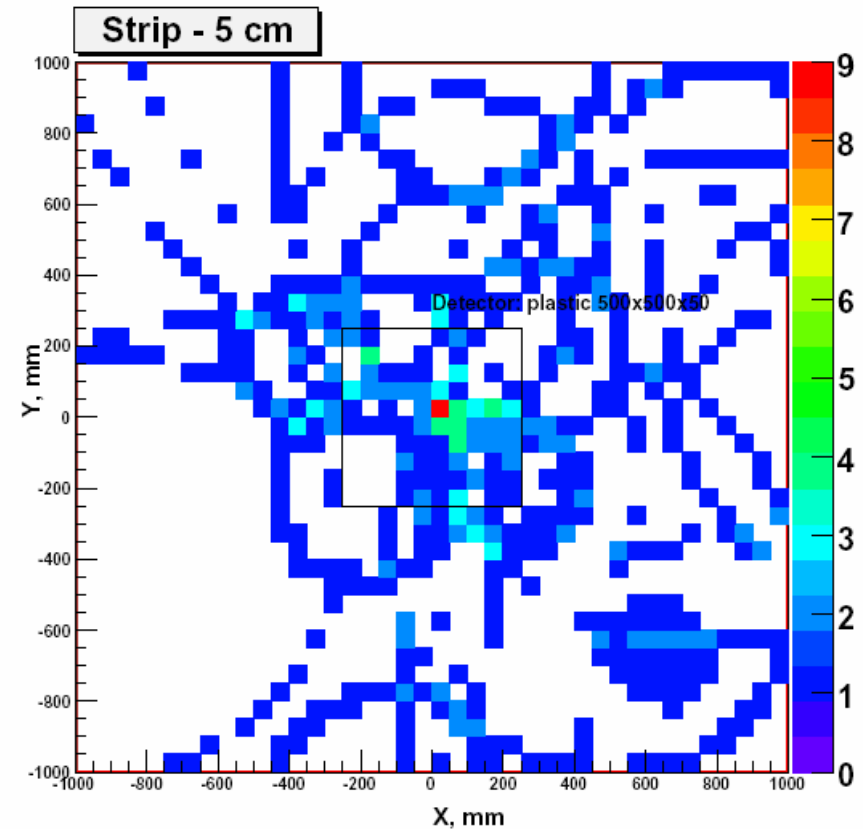
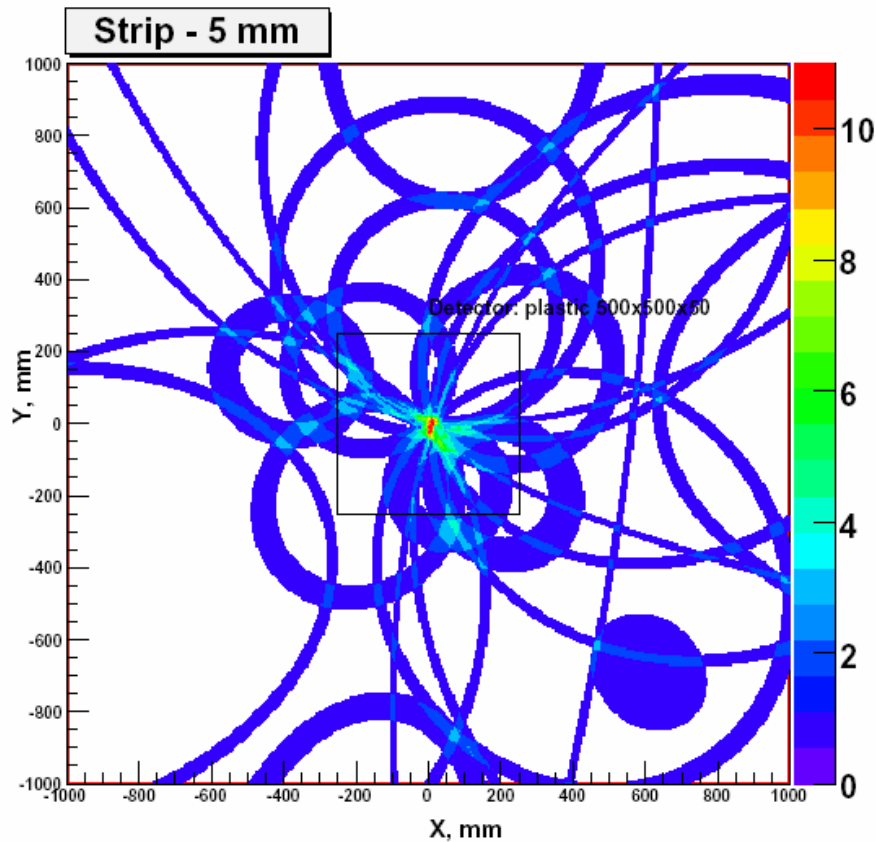
Пример: D1, D2 – 500x500x50 мм³, L = 1000 мм, $E_{\gamma 0} = 1$ MeV

Стрип (модуль) – 500x50x50 мм³ (20 каналов считывания)

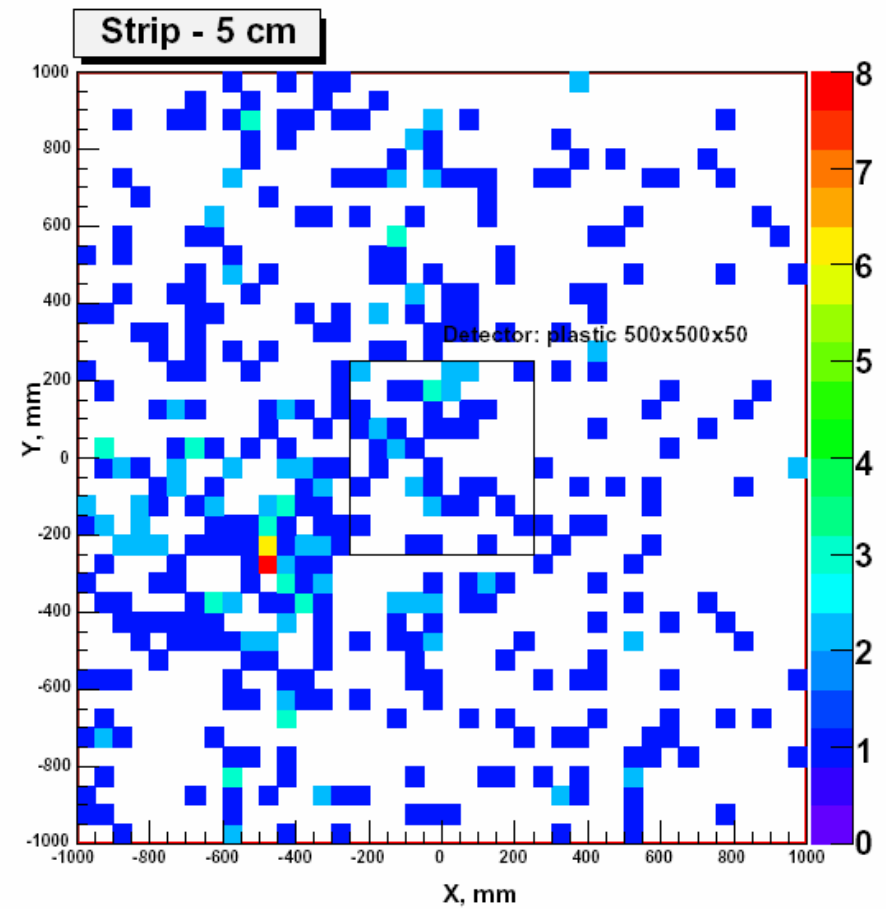
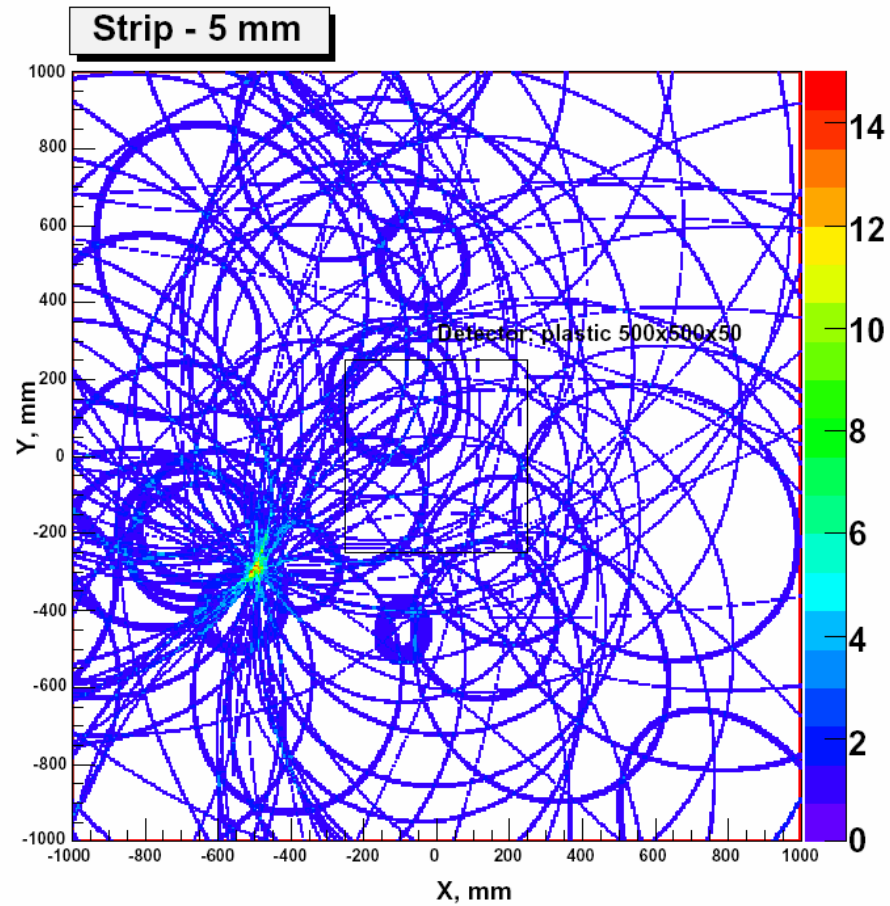


Реконструкция событий в DAQ: ROOT5

- $|F(x_3, y_3, z_3, E_{\gamma 0})| = \cos \theta - (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 + \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2) < \sigma$

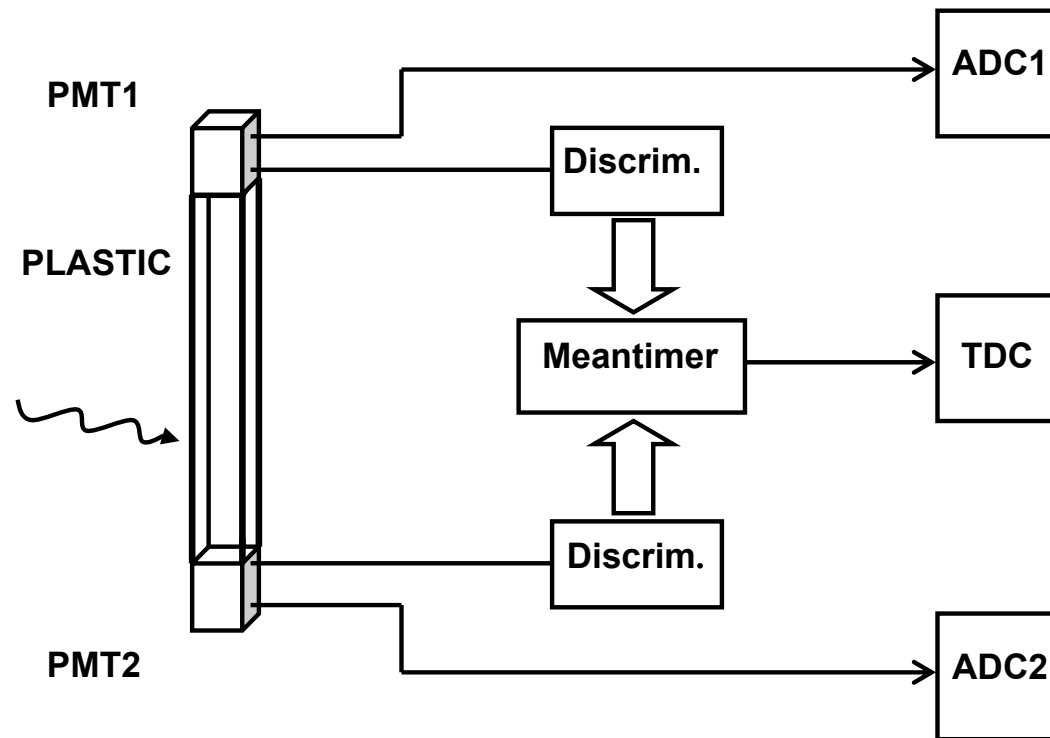


Источник смещён



Измерение энергии в D1 (схема)

- Стрип (модуль)



Измерение энергии в D1 (реализация)

- **Пример:**

(ОИЯИ, Институт монокристаллов, ХНУ)

arXiv: physics/0403079 (2004)

NIM, A538, 2005, p. 358-371

NIM, A579, 2007, p. 371-374



**Пластмассовый сцинтиллятор длиной до 3 м,
Фотосенсор – H5783 (ФЭУ – R5600)**

Ошибка измерения энергии

Energy calibration of gamma spectra in plastic scintillators
using Compton kinematics

E.R. Siciliano, J.H. Ely, R.T. Kouzes*, J.E. Schweppe, D.M. Strachan, S.T. Yokuda

Pacific Northwest National Laboratory, MS K7-36, National Security Division, 1005 Country Court, P. O. Box 999, Richland, WA 99352, USA

(NIM, A594, 2008, p. 232-243)

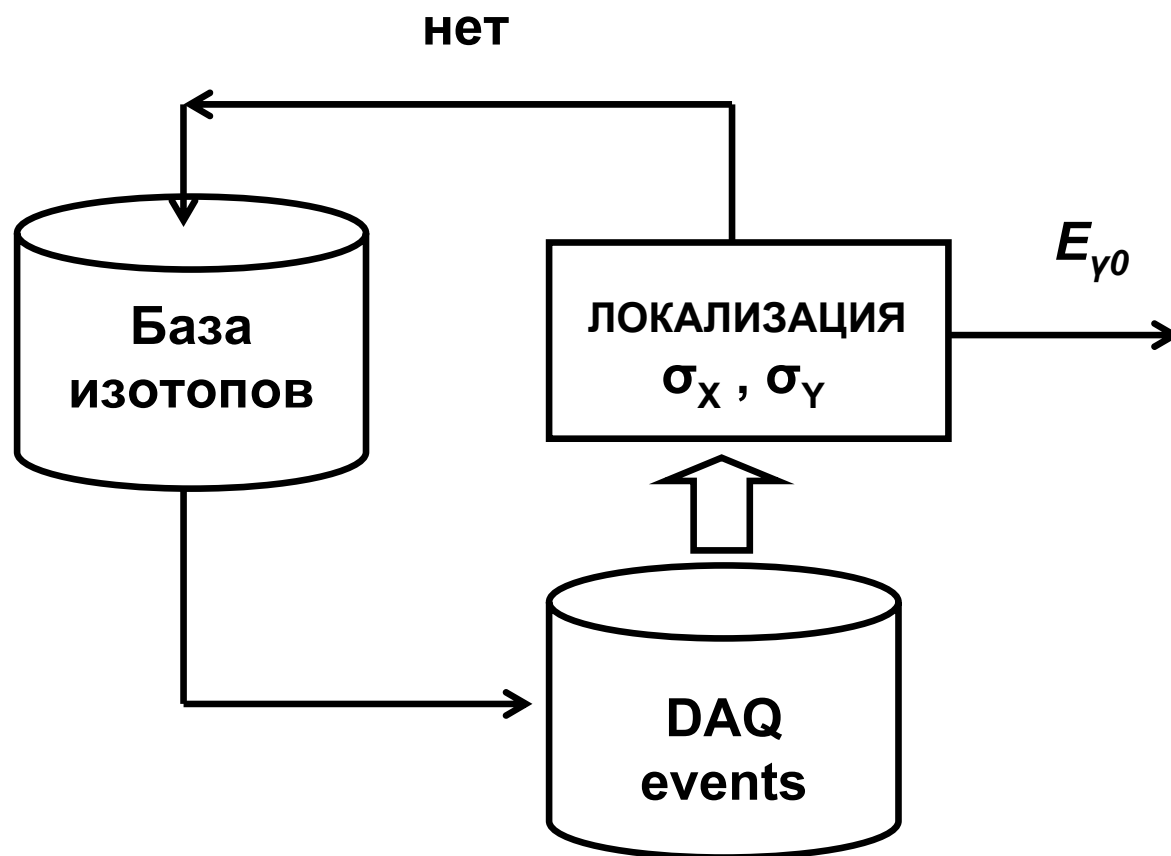
$$\text{FWHM}(E) = a + b \cdot \sqrt{(E + c \cdot E^2)} \quad (\text{Gaussian Energy Broadening})$$

NaI(Tl): (0, 0.05086, 0.30486) $\Rightarrow$ 7% (0.662 MeV)

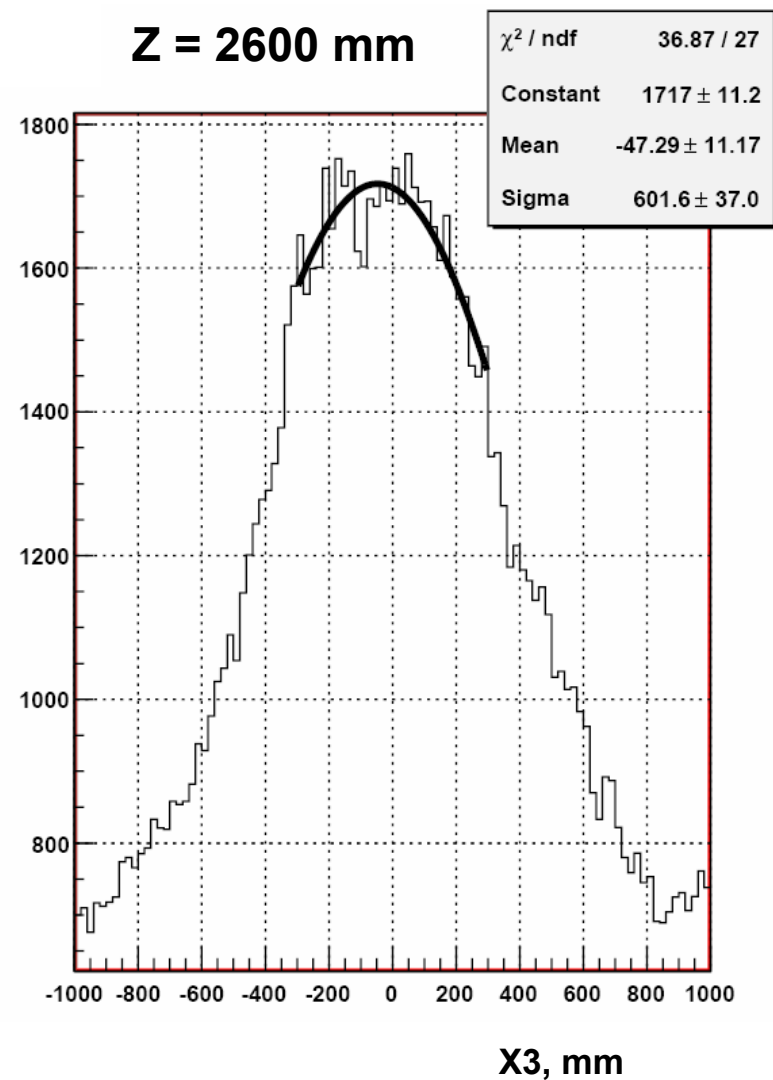
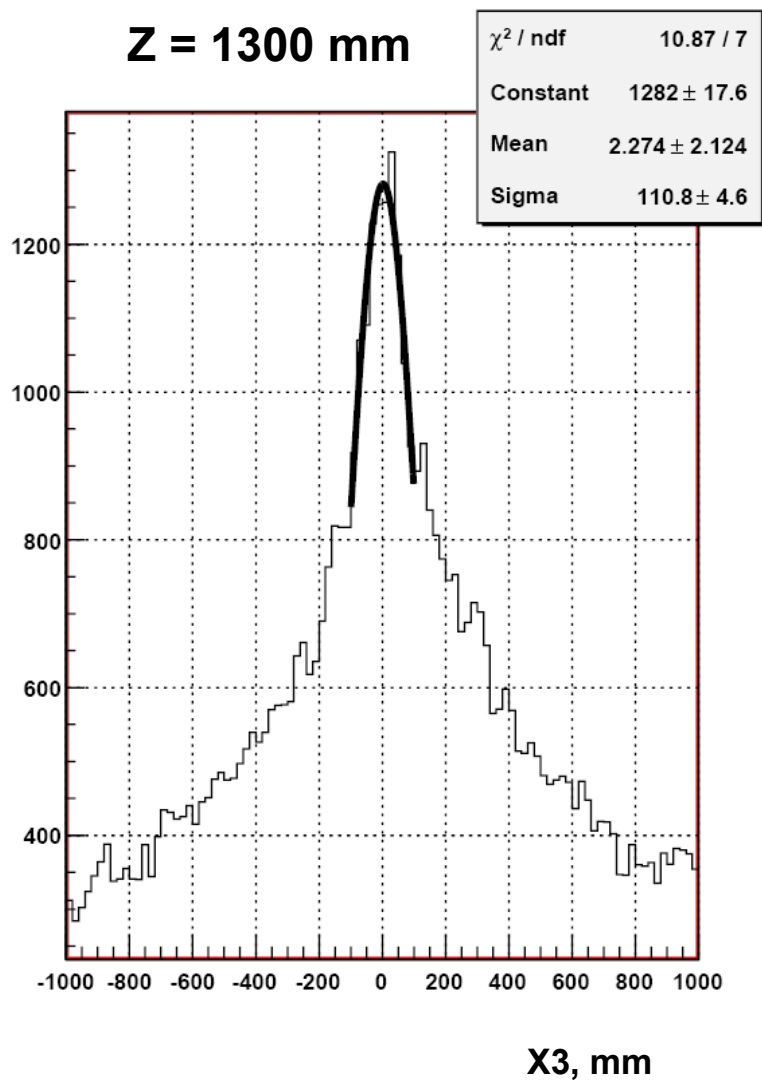
Plastic: (0, 0.407, 0) $\Rightarrow$ 50%

Определение полной энергии (1)

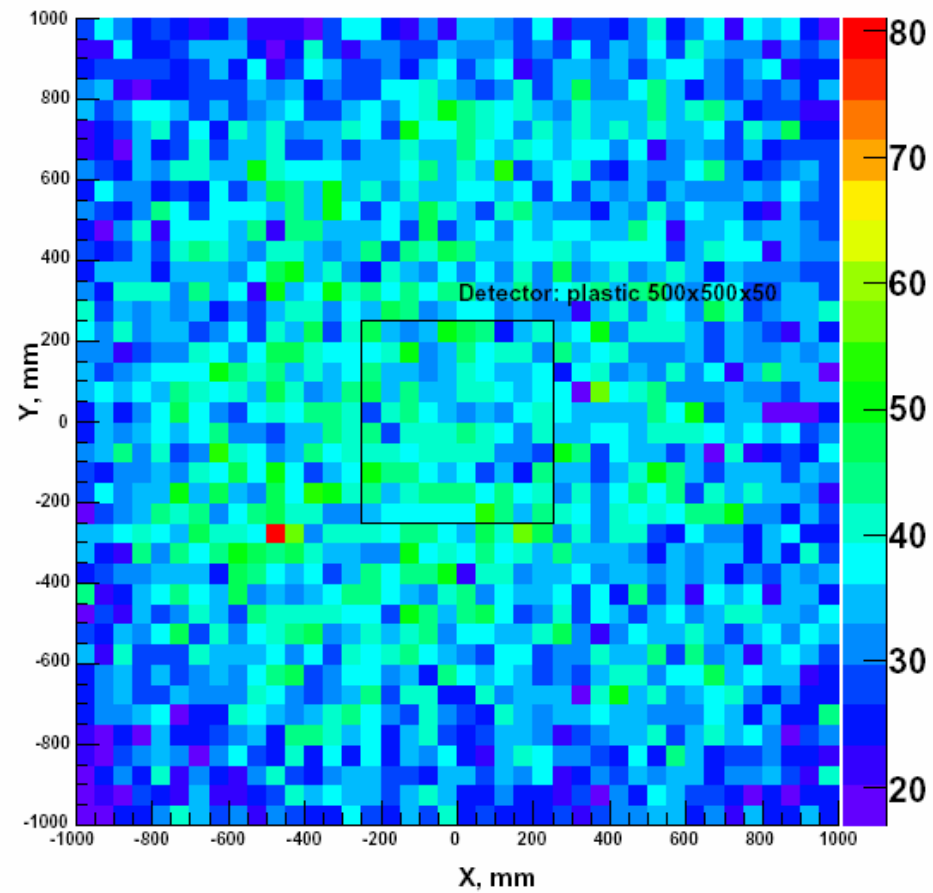
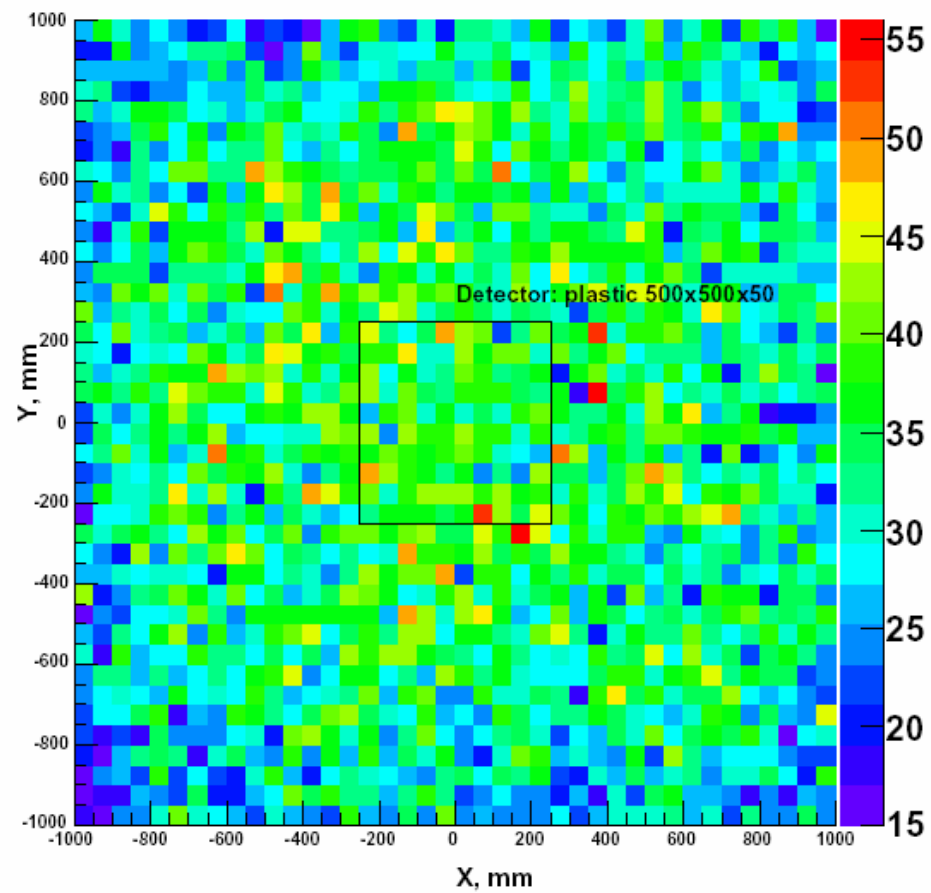
«Эффект фокусировки»:



Определение координат источника и полной энергии (2)



«Включение» фона



Что дальше ?

γ – канал

- Реальная модель фона (NORM ~ 100)
- Оптимизация алгоритмов реконструкции
- Оптимизация конструкции RPM
- Реальная статистика

n – канал

Задача для физиков-материаловедов:

сверхбыстрый пластик