

---

# **Комбинированные методы обнаружения специальных ядерных материалов**

Иванов А.И.

Институт сцинтилляционных  
материалов НАН Украины



# Средства выявления ЯМ

---

- **Косвенного обнаружения**
  - Рентгеновские и нейтронные интроскопы
  - Мюонные томографы
- **Непосредственного обнаружения**
  - Персональные устройства (PRDs)
  - Носимые устройства идентификации изотопов (RIIDs)
  - Портальные мониторы (RPMs, ASPs)
  - Мобильные и транспортабельные детекторы

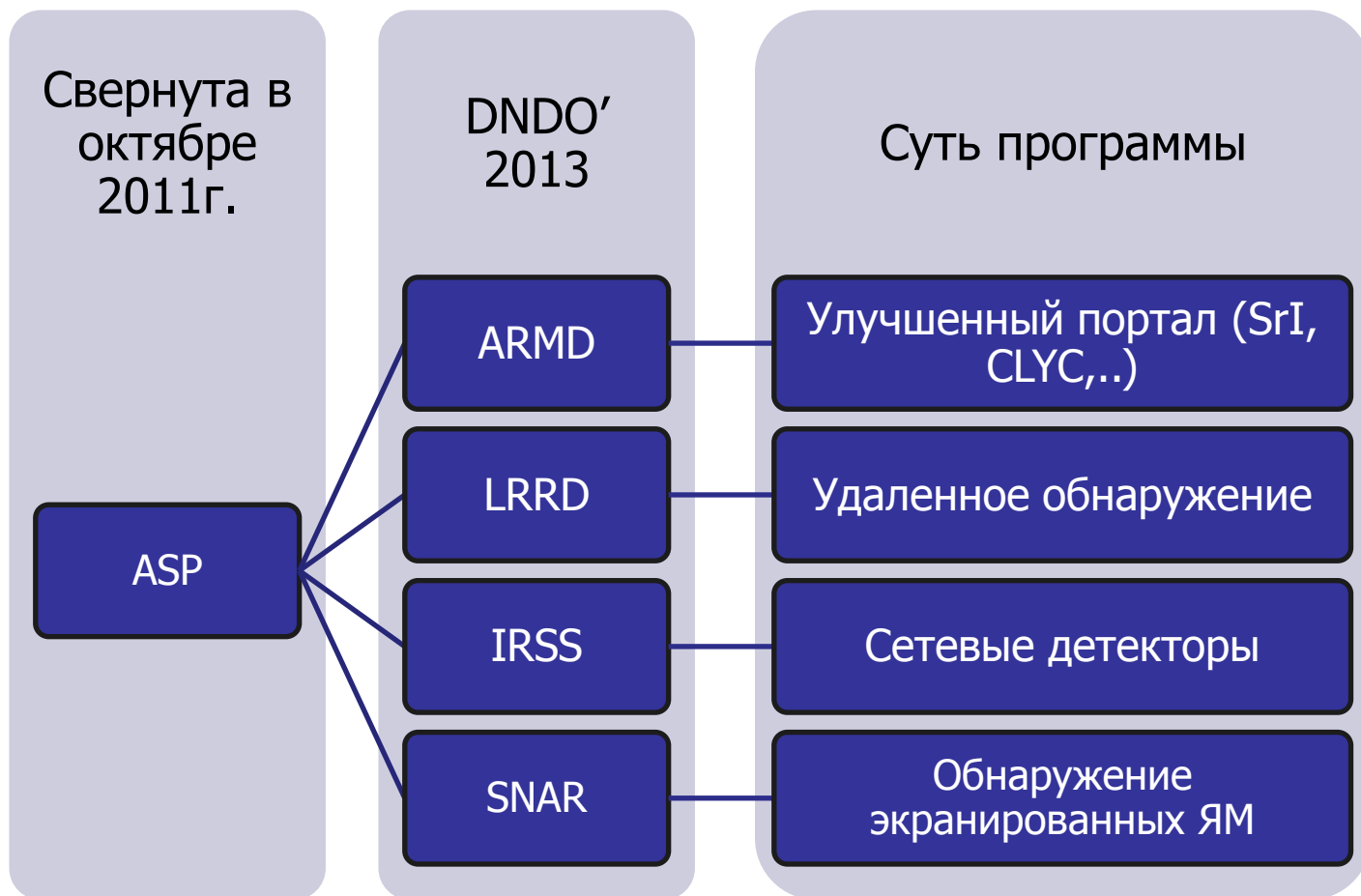
# Недостатки RPM

- Невозможность обнаружения экранированных ЯМ
- Недостаточная чувствительность
- Высокая вероятность ложных тревог и пропусков
- Недостаточная скорость досмотра



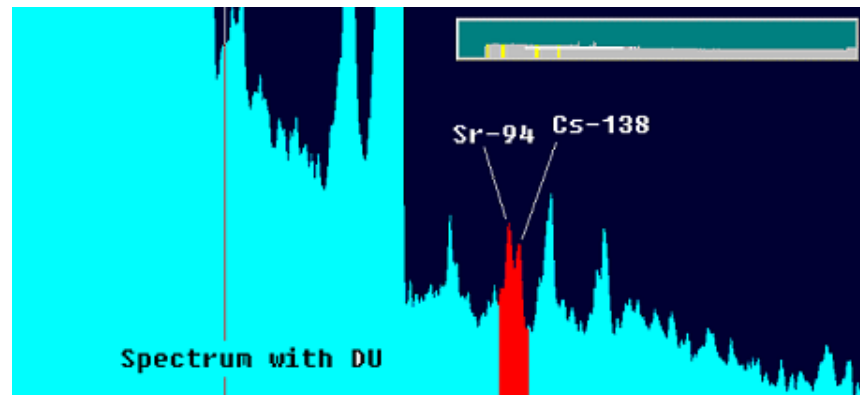
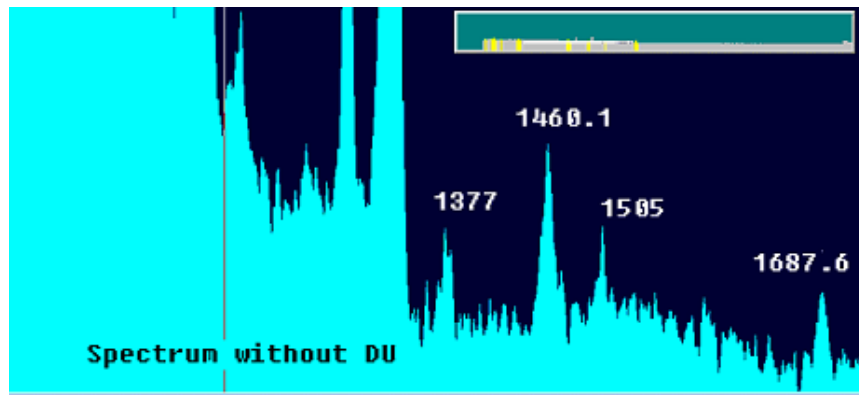
# ASP и последующие проекты

## DNDO



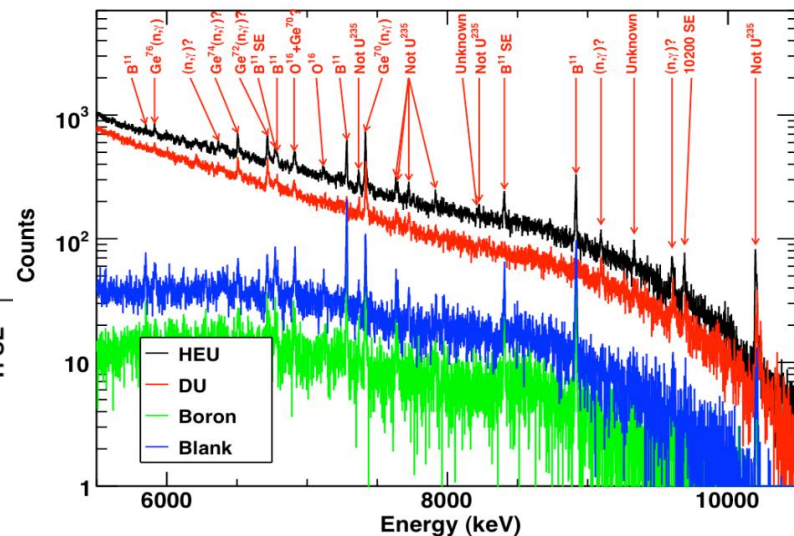
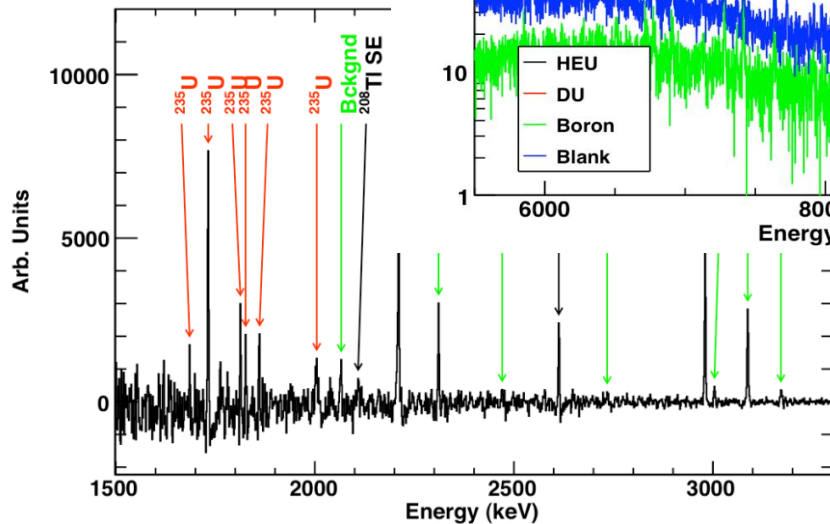
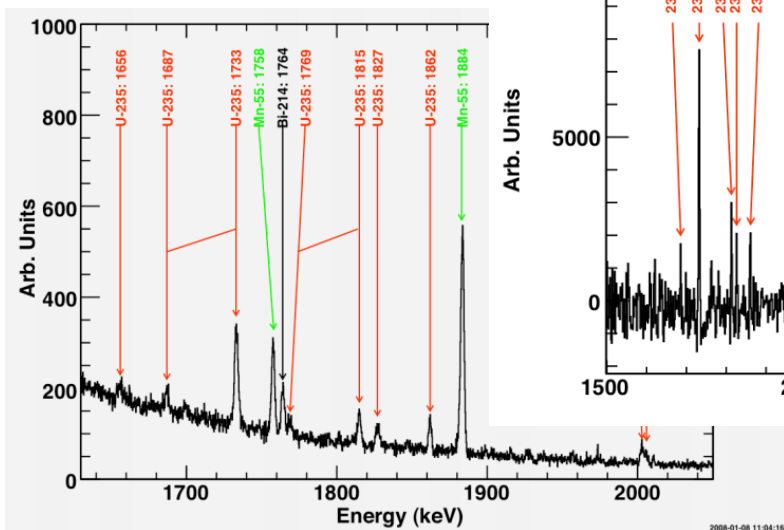
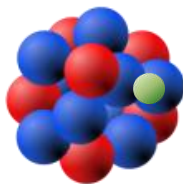
# Перспективные технологии:

## Обнаружение индуцированных делений



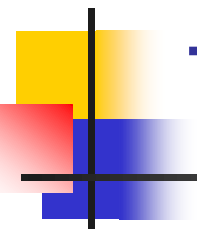
\*H Yang, Univ. of Michigan 2009

# Перспективные технологии: Ядерная флюоресценция



\*GA Warren at el, PNNL 2009

# Сравнение различных технологий



Технология/ параметр	X-ray сканер	n-сканер	μ сканер	RPM	ASP	PhF NiF	NRF
доп. рад. нагрузка	+	+	-	-	-	+	+
Интроскопия	+	+	+	-	-	-	-
Обнаружение экран. контейнеров	+	+	+	-	-	-	-
Обнаружение радиоактивн. изотопов	-	-	-	+	+	+/-	+/-
Обнаружение экран. ЯМ	-	-	-	+/-	+/-	+	+
Идентиф. изотопов	-	-	-	-	+	-	+

# Моделирование КМ в GEANT4

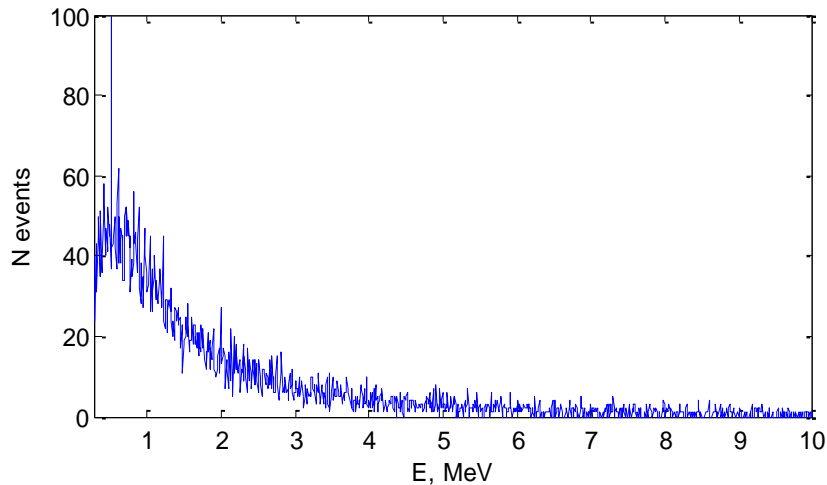
Технология	GEANT4 Physics list
X-ray, RPM ( $\gamma$ -rays)	G4EmStandardPhysics, G4EmStandardPhysics_option4 ( most accurate physics models from Standard and Low Energy sets)
N-scan, RPM(neutrons)	G4HadronXXX_HP
Muons	G4MuMultipleScattering
PhF	???
NiF	G4NeutronHPFission, G4NeutronHPorLFission
NRF	??? G4NRF (LLNL)



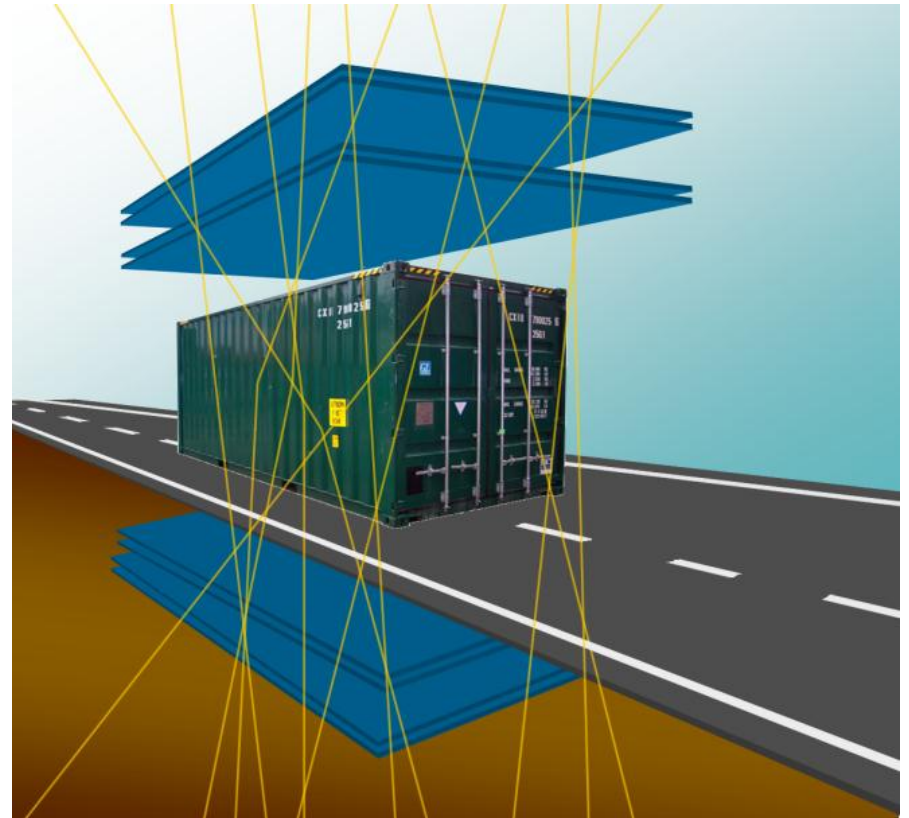
# КМ в мюонном томографе

На  $10^5$  мюонов с энергией 1-3ГэВ, в  $1\text{см}^3$  DU:

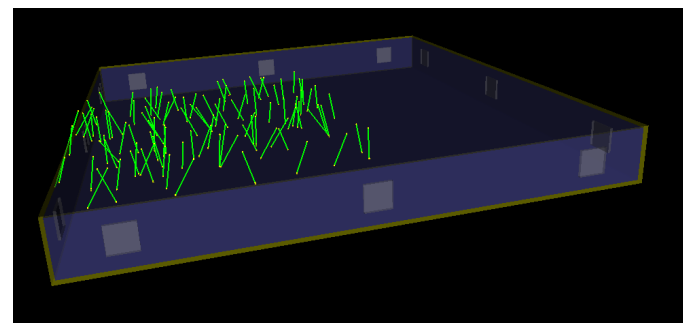
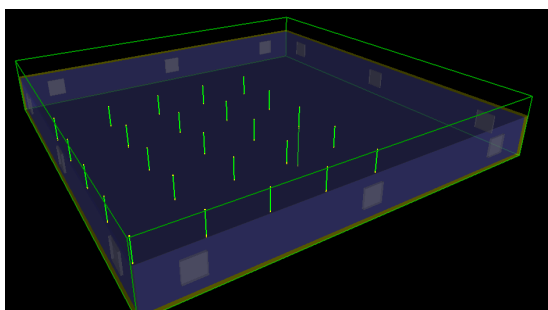
- 3 нейтрона
- 5-6% - выход  $\gamma$  с энергией больше 1 МэВ (100000 запусков)



- Возможен только режим RPM + томография

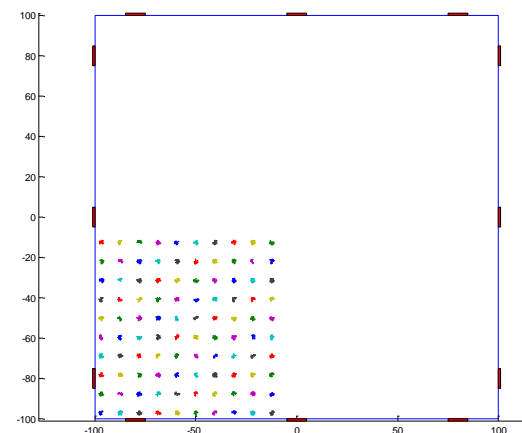
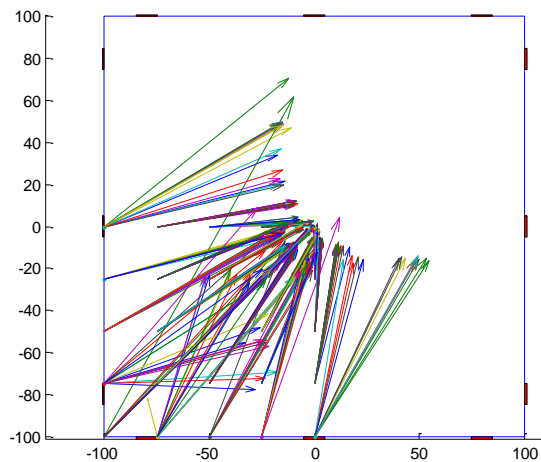


# ПЧ детектор с боковым светосбором



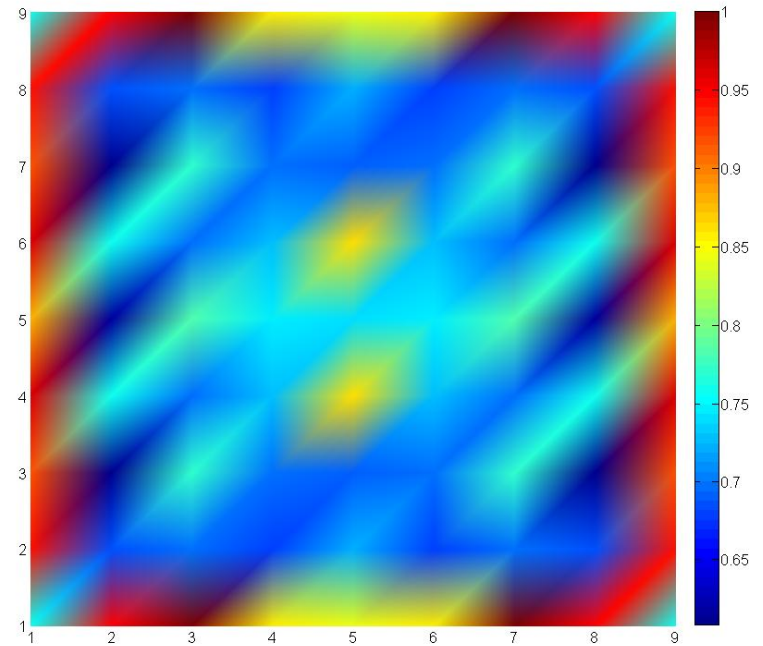
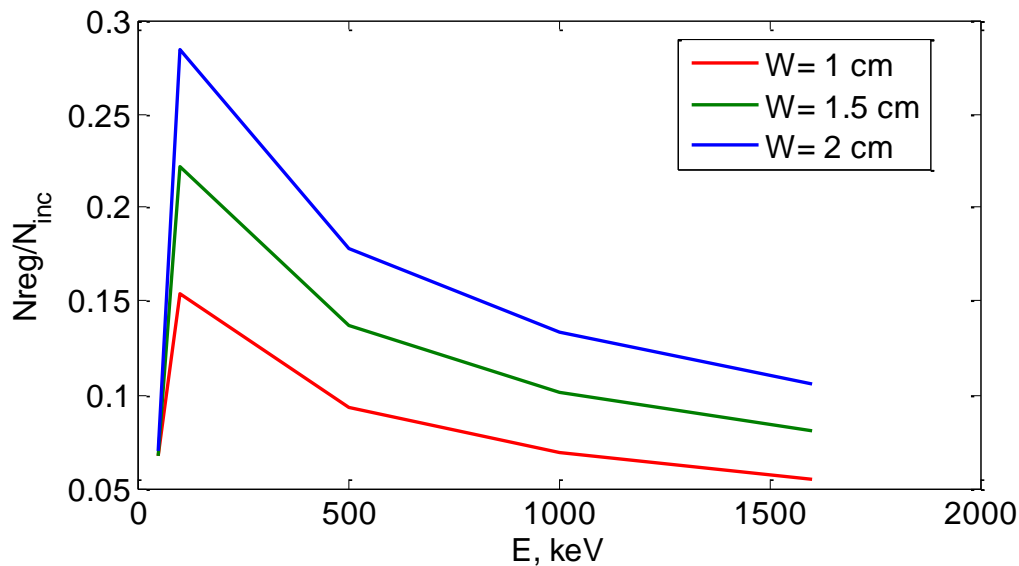
Калибровочный запуск и запуск для измерения параметров

$$x_i = \frac{\sum_j x_{ij} E_j A_j}{\sum_j E_j}$$



Алгоритм Ангера и отыскание весовых коэффициентов

# ПЧ детектор с боковым светосбором

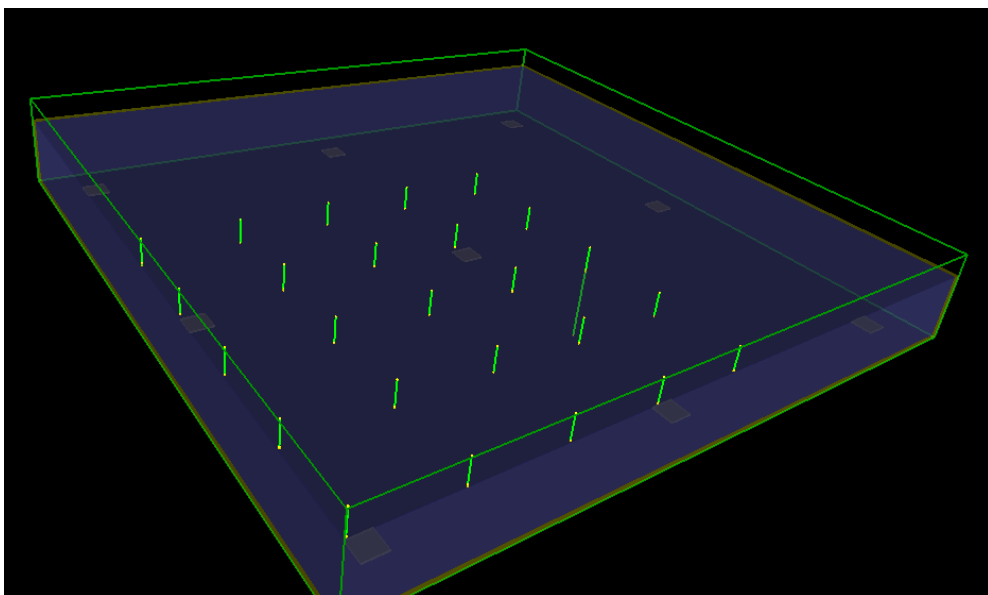


Зависимость эффективности регистрации гамма квантов от энергии

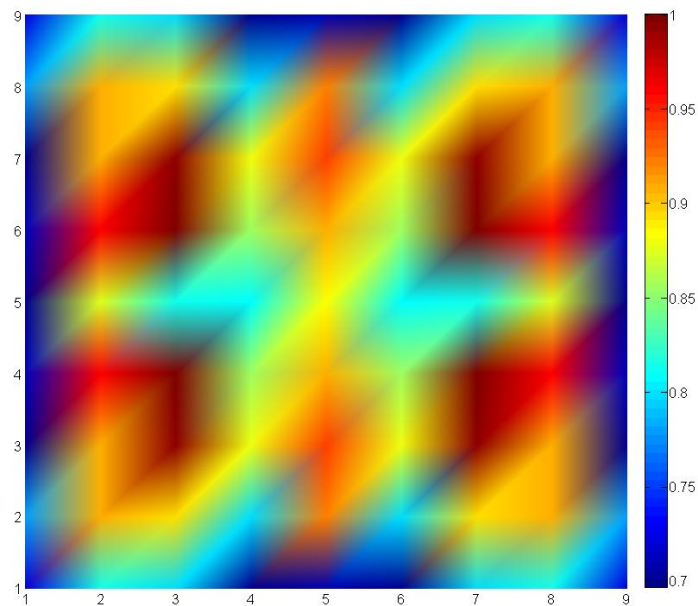
Профиль светосбора на малых энергиях

- Ухудшение чувствительности на малых энергиях
- Зоны с отсутствием ПЧ

# ПЧ детектор «гаммакамерного» типа



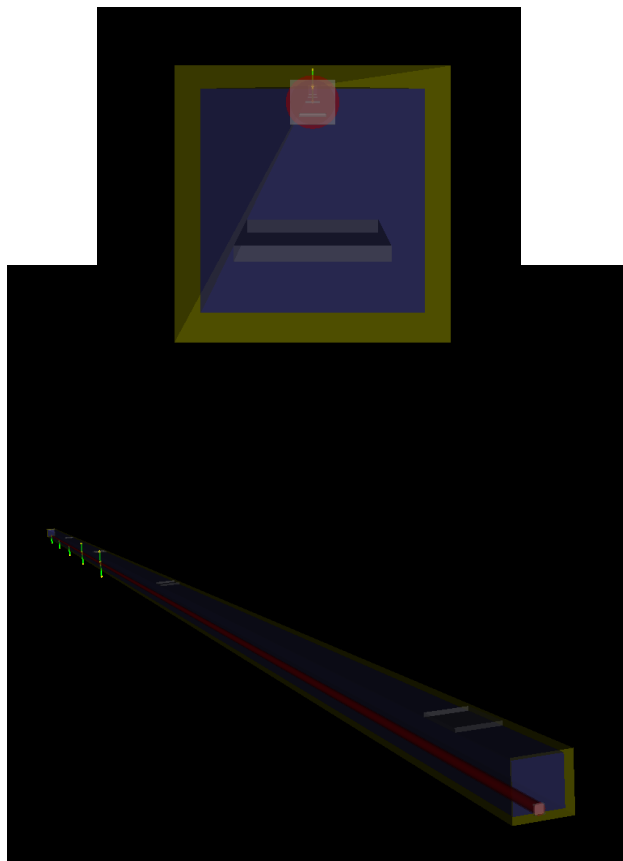
Геометрия детектора



Профиль светосбора на малых энергиях

- Чрезвычайно широкая LSF
- Большое количество фотоприемников

# Стриповый детектор

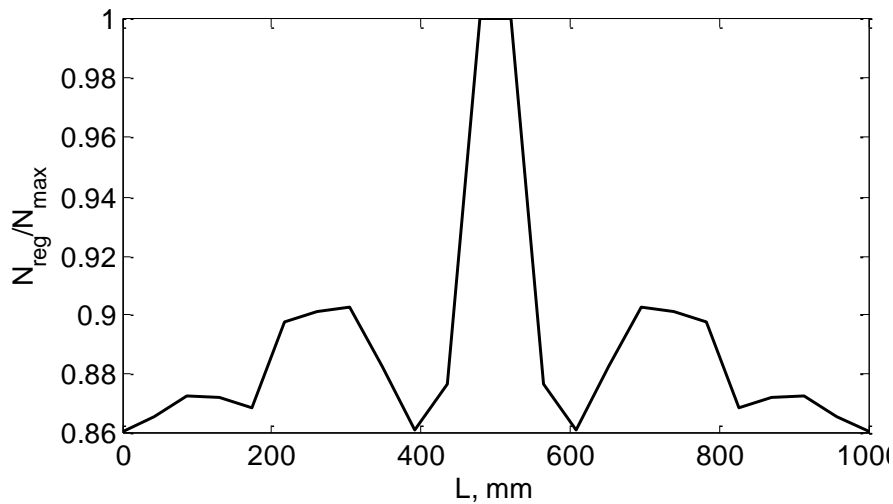


- Детектор сечением 10x10 мм, WLS волокно с фотодиодами на торцах для ПЧ на мюонах
- 3-5 фотодиодов на нижнем торце для RPM режима

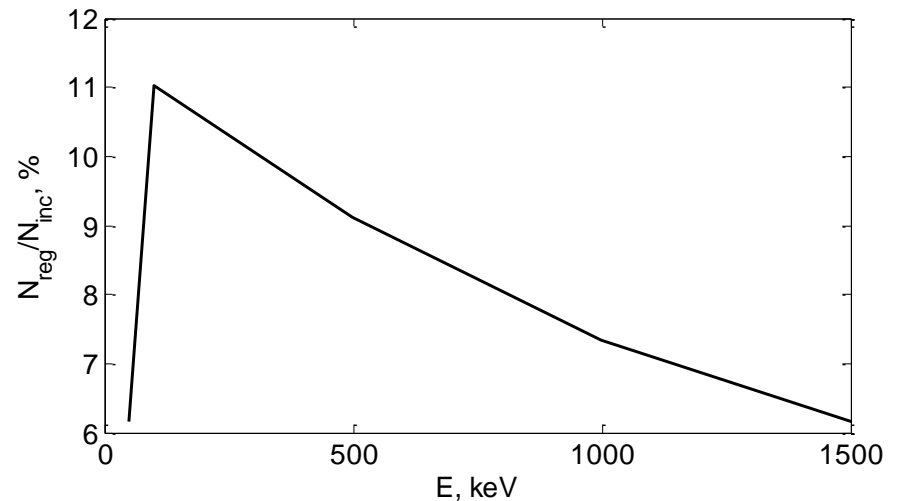
Предварительные результаты моделирования:

- ПЧ на мюонах 1-3 ГэВ не хуже 3 мм в диапазоне зенитных углов до  $30^\circ$
- Нижняя граница регистрации по  $\gamma$  – менее 50 кэВ

# Стриповый детектор



Профиль светосбора на малых энергиях



Эффективность регистрации по  $\gamma$

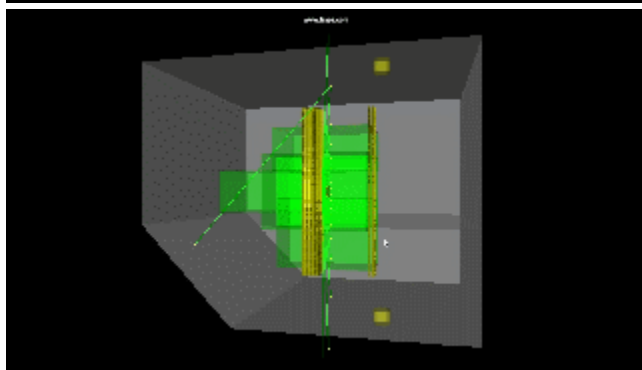
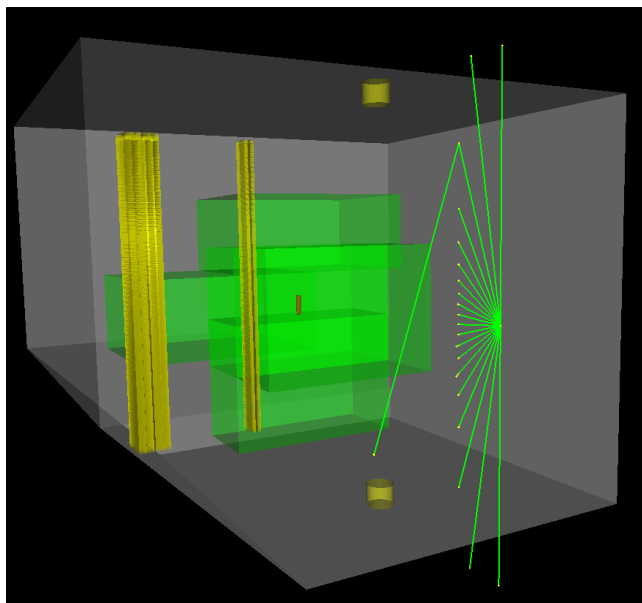
- Возможность отдельно оптимизировать детектирование гамма квантов и мюонов
- (Теоретически) возможность регистрации нейтронов

# КМ в интроскопах

- AC6015XN air cargo scanner by CSIRO and Nucltech:
- 6/3 MeV LinAc, 14 MeV PNG
- 1-2 min / ULD
- 4 columns of 20x20x75mm plastic scintillator neutron detectors (704 detectors)
- 1-2 columns of 10x10x50mm CsI(Tl) gamma-ray detectors (352 detectors), all with photodiode readout and operating in pulse counting mode.
- 2816см<sup>2</sup> пластика
- 352см<sup>2</sup> CsI(Tl)  
(ASP – 2-4 \* 400см<sup>2</sup> NaI(Tl))



# КМ в интроскопах



- Штатные детекторы AC6015XN + два детектора изменяемой конфигурации для обнаружения индуцированных делений и ядерной флюоресценции
- Эквивалент 100 GBq по гамма и  $10^9$  нейтронов/с

Предварительные результаты моделирования:

- Соответствие N42.35 по детектированию основных изотопов
- Обнаружение  $\sim 4 \text{ см}^3$  HEU по замедленным нейтронам при стальном экране толщиной 5 см и по NRF при 10 см экране из PMMA

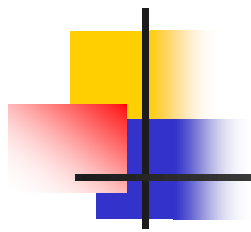




# Выводы

---

- КМ в мюоном томографе
  - Возможен режим томограф + RPM
  - оптимальный детектор – стриповый, с дополнительными фотодиодами для работы в RPM режиме
- КМ в интроскопах
  - Возможны произвольные комбинации RPM/ASP + PhF + NiF + NRF
  - RPM/ASP не требует доп. детекторов, PhF/NiF/NRF требуют детекторов ~ Ø5 дюймов x 3 дюйма



Спасибо за внимание!