

# Измерение временного разрешения детекторов на основе **LaBr<sub>3</sub>(Ce)** и **SiPM** при регистрации аннигиляционных гамма-квантов

---

Студент:

Килинкарров Д.С.

Научный руководитель:

Канцеров В.А.

Консультант:

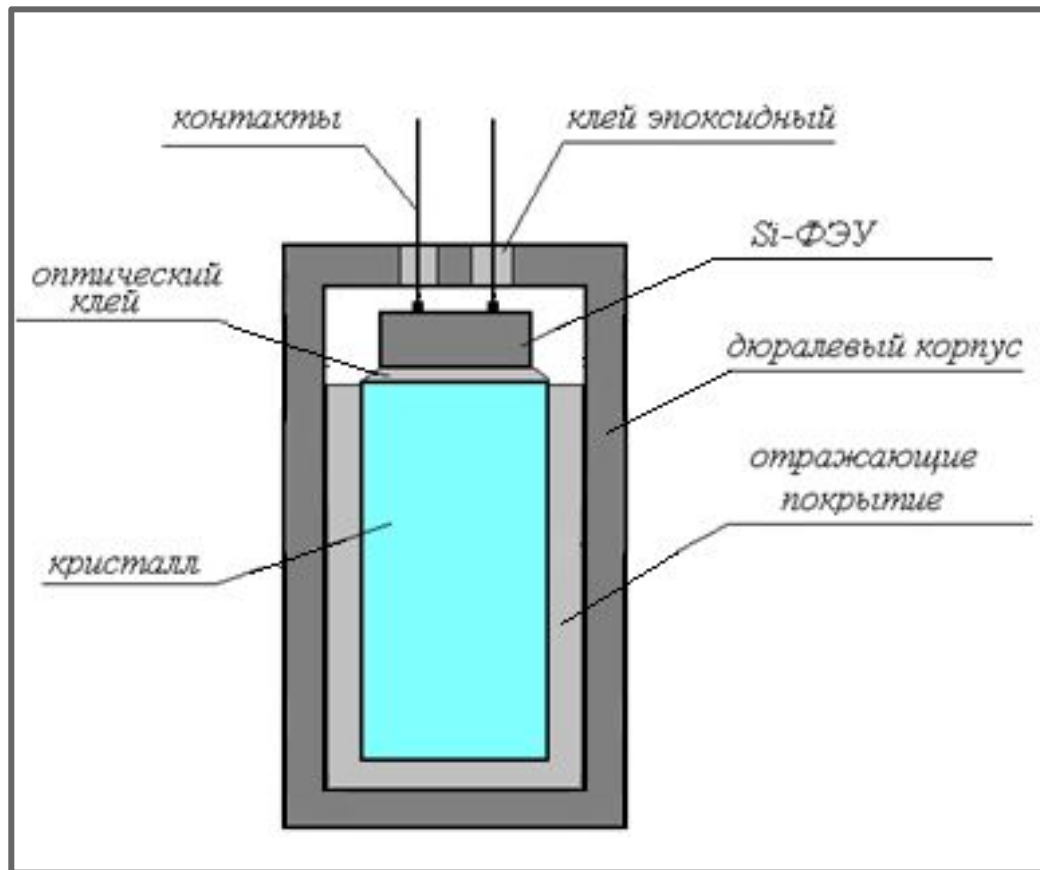
Дубинин Ф.А.

# Цели и задачи работы

**Цель:** изучение методики временных измерений с аннигиляционными гамма-квантами

**Задача:** провести измерения временного разрешения установки в режиме некоррелированных сигналов и изучить факторы, оказывающие влияние на результат.

# Строение детекторной сборки на основе LaBr<sub>3</sub>(Ce) и SiPM



- Сцинтиллятор: LaBr<sub>3</sub>(Ce)
- Форма: цилиндр
- Диаметр: 4 мм
- Длина: 1 см
- SiPM: SensL FC30035

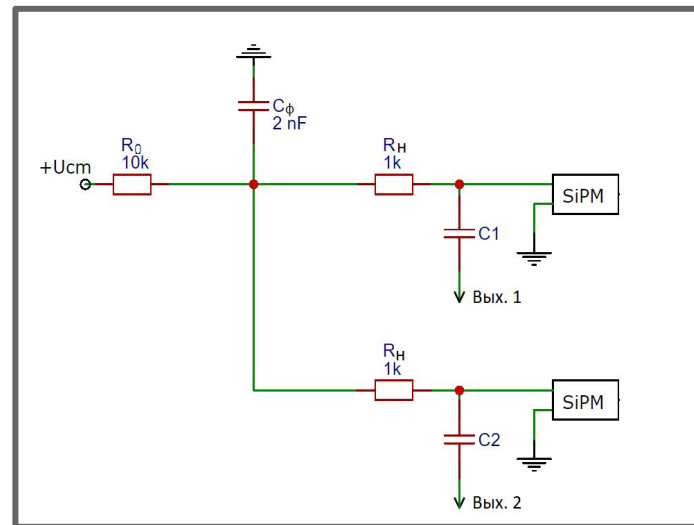


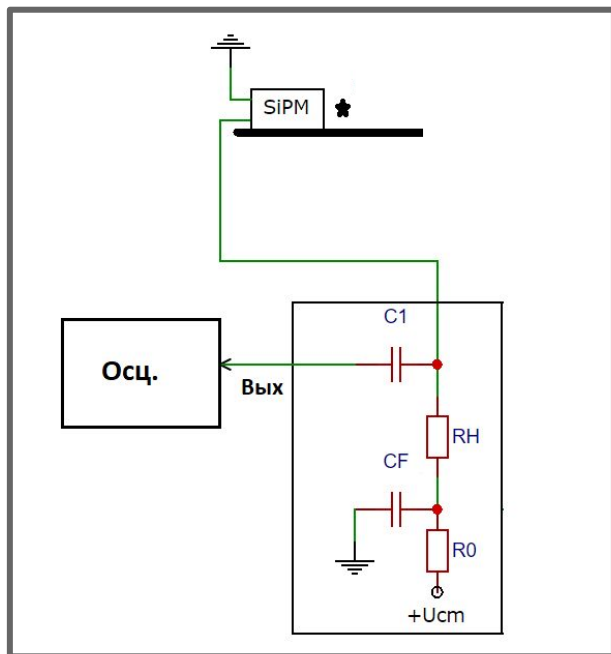
Схема питания SiPM

# Этапы работы

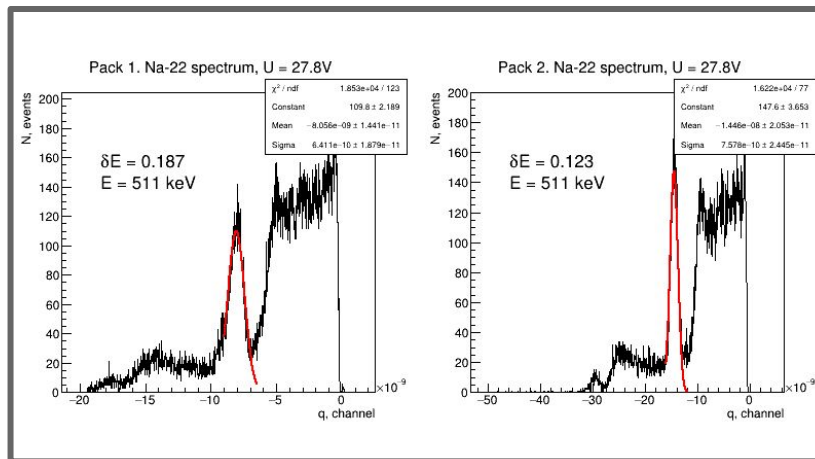
1. Измерение энергетического разрешения детекторов для энергии 511 кэВ.
2. Проведение измерения зависимости временного разрешения установки в режиме коррелированных импульсов СТАРТ и СТОП от длительности сигналов с дискриминаторов.
3. Измерение временного разрешения установки в режиме некоррелированных сигналов.
4. Обработка и анализ полученных данных

# Исследование энергетического разрешения детекторов.

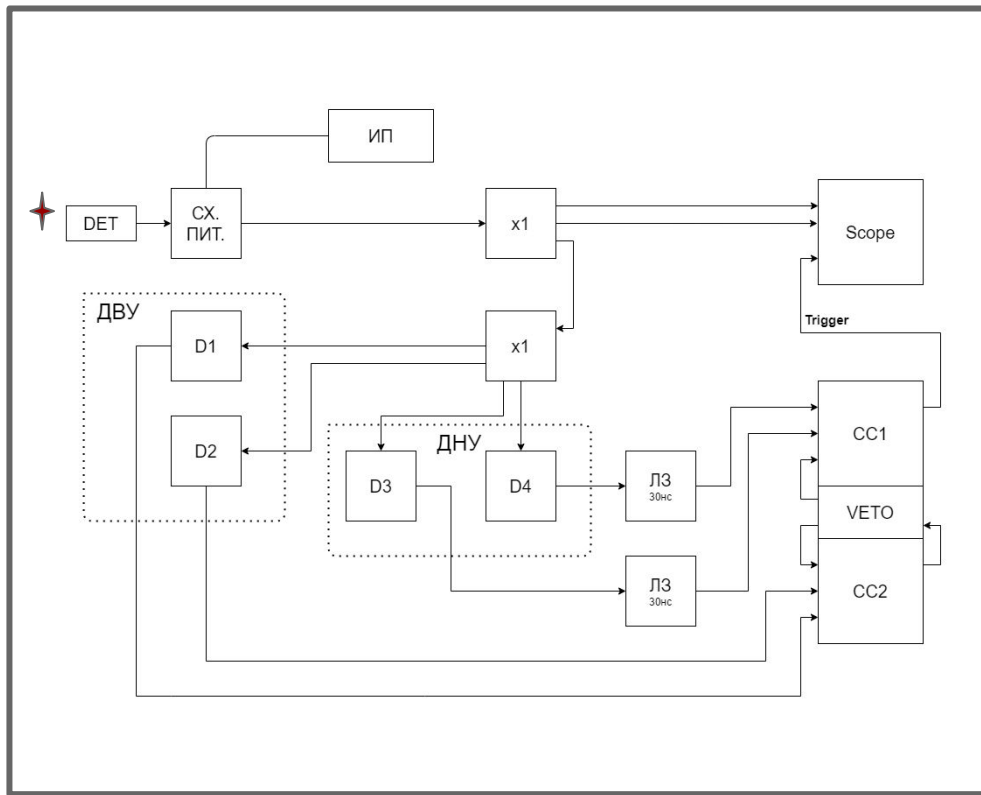
Схема установки



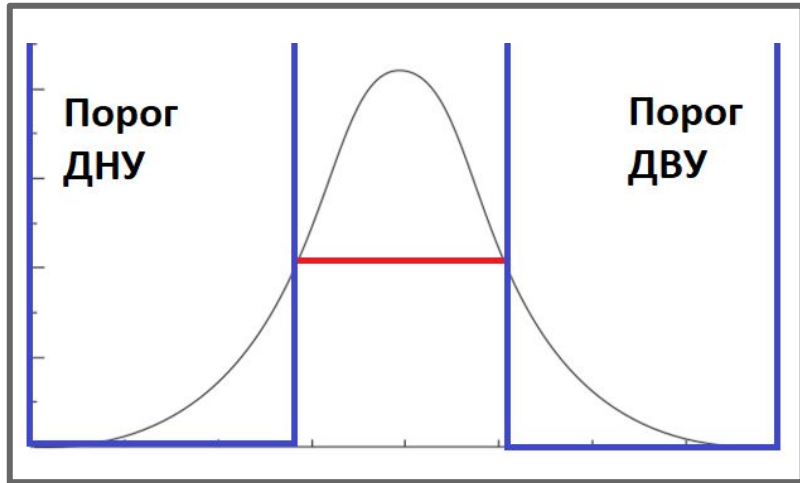
- Источник: Натрий-22
- Осциллограф: LeCroy Waverunner 640Zi
- Источник питания: АКТАКОМ АТН-2031
  
- Напряжение смещения: 27.8В
- Интеграл спектров: 15 000



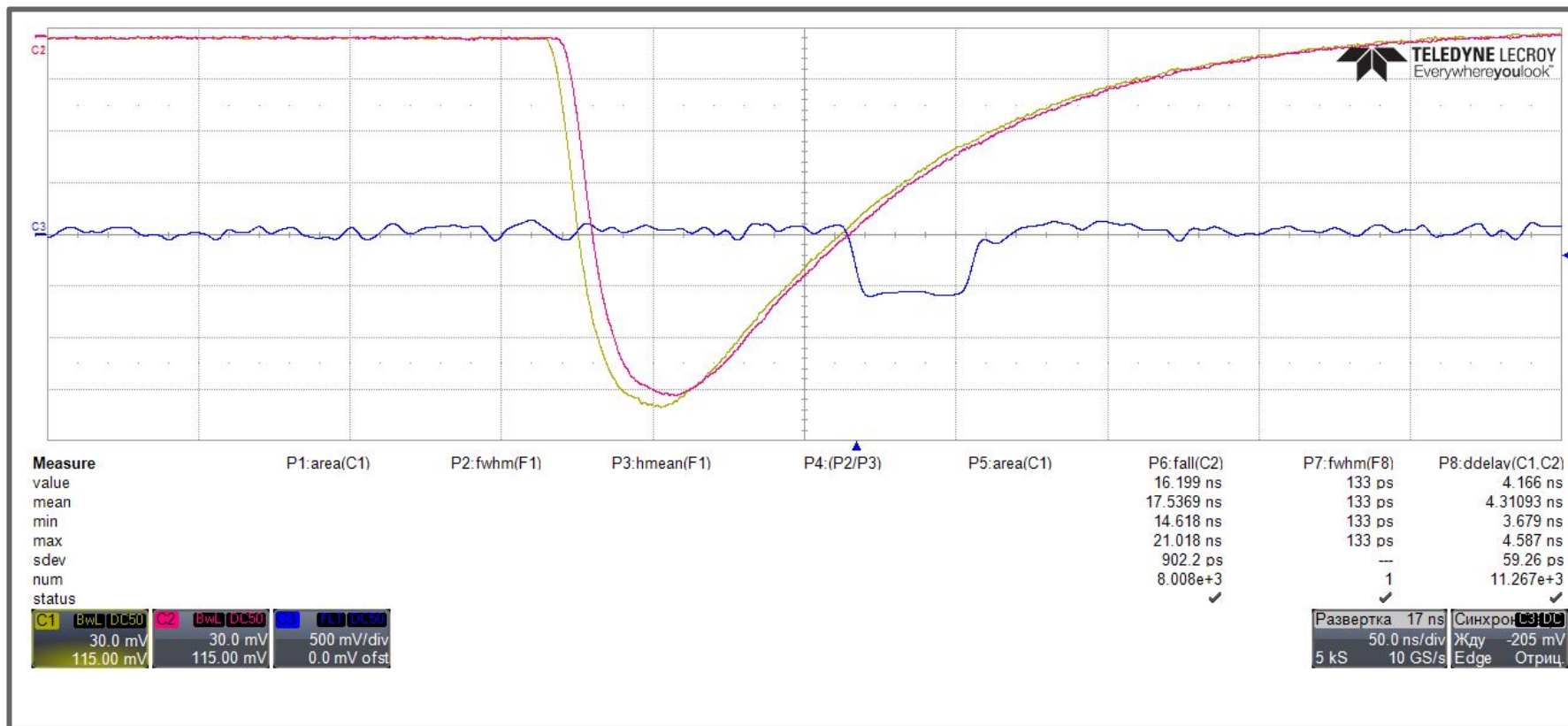
# Исследование зависимости временного разрешения установки от длительностей сигналов дискриминаторов. Схема эксперимента.



- Источник: Цезий-137
- Осциллограф: LeCroy Waverunner 640Zi
- Источник питания: АКТАКОМ АТН-2031
  
- Диапазон длительностей: 8 - 25 нс
- Интеграл спектра: 20 000



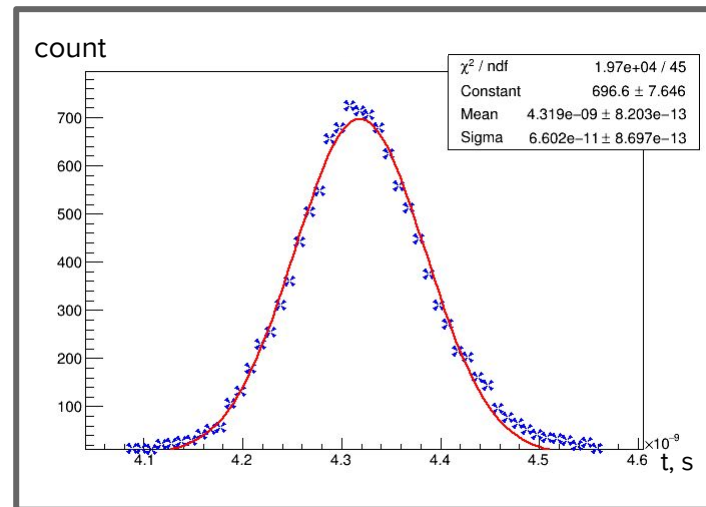
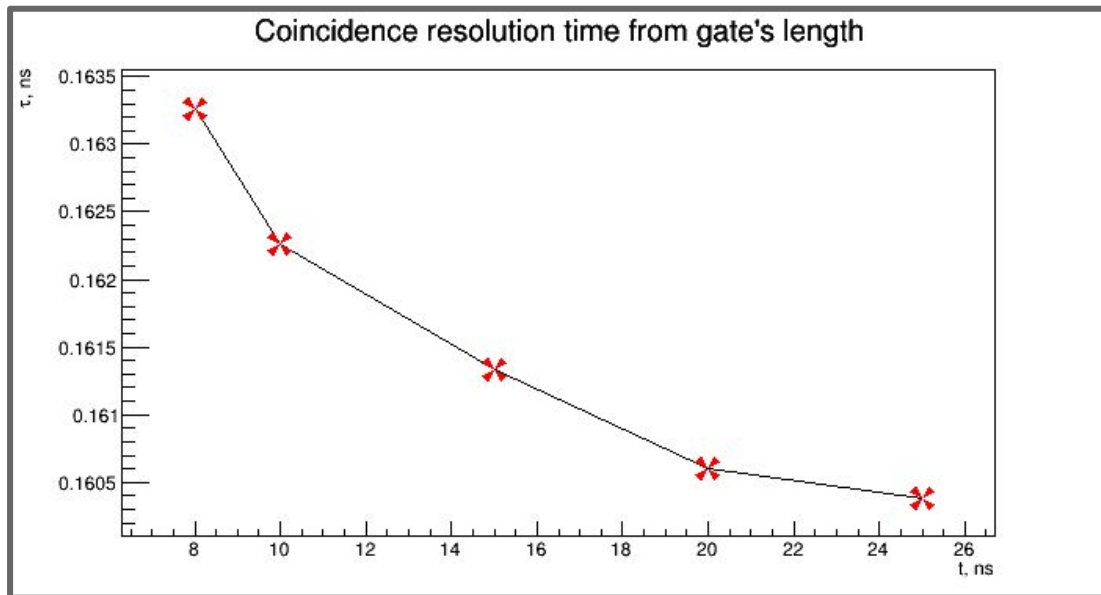
# Исследование зависимости временного разрешения установки от длительностей сигналов дискриминаторов. Пример осциллограммы.



## Исследование зависимости временного разрешения установки от длительностей сигналов дискриминаторов. Результаты эксперимента.

График показывает, что изменение длительностей сигналов дискриминаторов в диапазоне 8 – 25 нс не оказывает заметного влияния на временное разрешение установки.

- Временное разрешение: ~162 пс
- Напряжение питания: 27.8 В

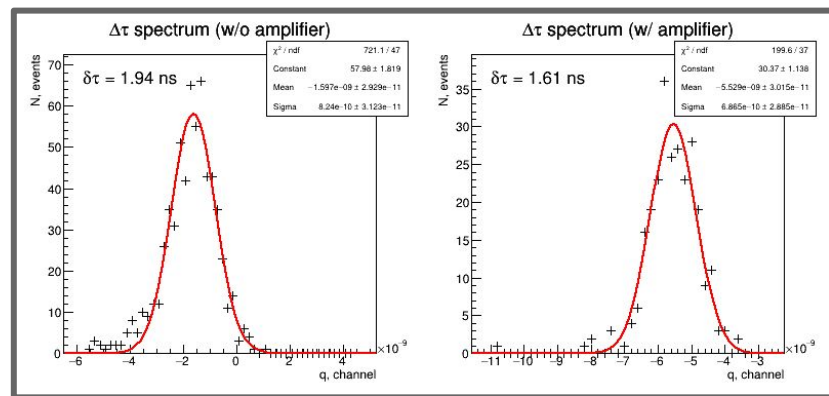




# Исследование временного разрешения установки с аннигиляционными гамма-квантами.

- Источник: Натрий-22
- Осциллограф: LeCroy Waverunner 640Zi
- Источник питания: АКТАКОМ АТН-2031
- Длительность сигналов ДВУ/ДНУ: 10 нс

|                    |     |     |
|--------------------|-----|-----|
| $K_{\text{усил.}}$ | 1   | 20  |
| $\tau$ , нс        | 1.9 | 1.6 |



# Заключение

- Энергетическое разрешение детекторов: [ $E = 511 \text{ keV}$ ,  $\delta_1 \sim 18.7 \%$ ,  $\delta_2 \sim 12.3 \%$ ]
- Временное разрешения установки в режиме коррелированных импульсов СТАРТ и СТОП не зависит от длительностей гейтов в диапазоне 8 - 25 нс и составляет:  $\sim 162 \text{ пс}$
- Временное разрешения установки в режиме некоррелированных импульсов, полученное с использованием аннигиляционных гамма-квантов: [ $\tau_{K=1} \sim 1.9 \text{ нс}$ ,  $\tau_{K=20} \sim 1.6 \text{ нс}$ ]

# Основные сцинтилляторы, используемые в ядерной медицине и требования к ним

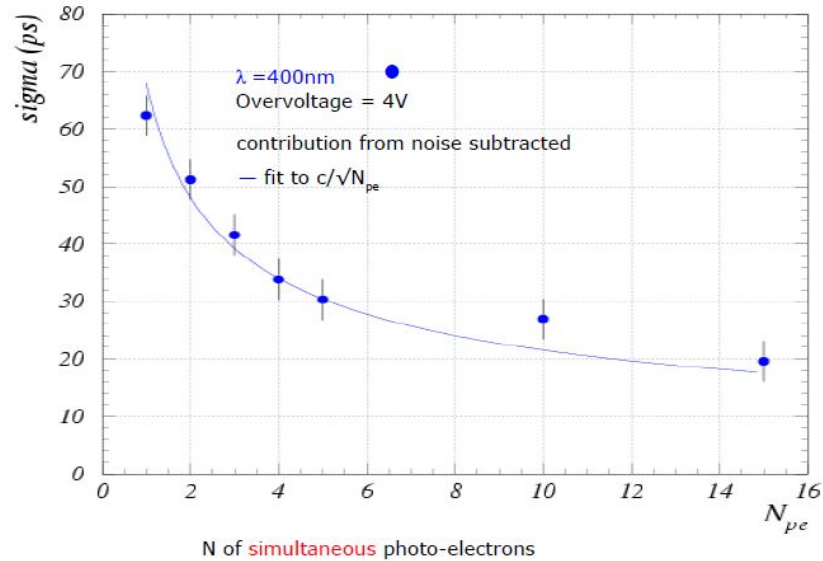
| Сцинтиллятор                          | NaI(Tl) | CsI(Tl) | BGO | LYS<br>O | LSO | LaBr <sub>3</sub> (Ce) | CeBr <sub>3</sub> |
|---------------------------------------|---------|---------|-----|----------|-----|------------------------|-------------------|
| Z <sub>эф</sub>                       | 51      | 54      | 74  | 63       | 66  | 45                     | 46                |
| ρ, г/см <sup>3</sup>                  | 3.67    | 4.51    | 7.1 | 7.1      | 7.4 | 5.08                   | 5.1               |
| Длина 50% ослабления<br>(662 кэВ), мм | 25      | 20      | 10  | 11       | 11  | 18                     | -                 |
| η=ΔE/E, % (662 кэВ)                   | 7.5     | 5.7     | 9.7 | 7.1      | 7.9 | 3.0                    | 4.3               |
| Световыход, фотонов/кэВ               | 38      | 40-45   | 9   | 32       | 27  | 65-70                  | 47                |
| τ, пс                                 | 250     | 1000    | 300 | 41       | 40  | 16                     | 17                |
| λ <sub>чист</sub> , нм                | 415     | 550     | 480 | 420      | 420 | 365                    | 370               |
| Гигроскопичность                      | +       | +/-     | -   | -        | -   | +                      | +                 |

## **Требования:**

1. Высокая плотность
2. Малое время высвечивания
3. Высокое энергетическое разрешение
4. Высокий световыход
5. Низкий собственный фон

## Dependence of SiPM timing on the number of simultaneous photons

Poisson statistics:  $\sigma_t \propto 1/\sqrt{N_{pe}}$



G. Collazuol et al. / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 581 (2007) 461–464

| Detectors            | Effective atomic no (Z) | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Scintillation decay time (ns) | Photon yield (per keV) | Linear attenuation coefficient (cm <sup>-1</sup> ) of 511 keV | Energy resolution (% at 511 keV) |
|----------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|---|----------------------------------|
| NaI(Tl)              | 51                      | 3.67                         | 250                           | 38                     | 0.34 <sup>a</sup>   | 7.8                              |
| BGO                  | 74                      | 7.13                         | 300                           | 6                      | 0.96  | 10                               |
| BaF2                 | 54                      | 4.89                         | 0.6                           | 2                      | 0.44  | 11.4                             |
| GSO                  | 59                      | 6.71                         | 50                            | 10                     | 0.67  | 9.5                              |
| Anthracene           | –                       | –                            | 26                            | 30                     | –   | –                                |
| LSO                  | 66                      | 7.40                         | 40                            | 29                     | 0.87  | 10.1                             |
| YSO                  | 34                      | 4.53                         | 70                            | 46                     | 0.39  | 12.5                             |
| CsI(Tl) <sup>b</sup> | 54                      | 4.51                         | 1,000                         | 52                     | 0.483   | 4.53                             |
| LYSO                 | 65                      | 7.2                          | 50                            | 25                     | 0.87  | 20                               |
| YAP                  | 39                      | 5.4                          | 27                            | 18                     | 0.46 <sup>c</sup>   | 2.5                              |
| LaBr <sub>3</sub>    | –                       | 5.3                          | 5                             | 61                     | –   | 5.3                              |

| Manufacturers→ <sup>a</sup><br>Models→<br>Features↓ | Philips <sup>b</sup>     |                             | Siemens <sup>c</sup>        |                             | GE Healthcare <sup>c</sup> |                         |
|---|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|   | GEMINI<br>TF Big<br>Bore | GEMINI<br>TF 64<br>(PET/CT) | Biograph<br>mCT             | Biograph<br>TruePoint       | Discovery<br>VCT           | Discovery<br>PET/CT 600 |
| Number of detectors                                 | 28 Pixelar modules       | 28 Pixelar modules          | 192                         | 192                         | 24 Rings                   | 24 Rings                |
| Number of crystals                                  | 28,336                   | 28,336                      | 24,336<br>32,448<br>(TrueV) | 24,336<br>32,448<br>(TrueV) | 13,440                     | 12,288                  |
| Detector material                                   | LYSO                     | LYSO                        | LSO                         | LSO                         | BGO                        | BGO                     |
| Ring diameter (cm)                                  | 90                       | 90                          | 84.2                        | 83                          | 88.6                       | 81                      |
| Patient scan range (cm)                             | 190                      | 190                         | 190                         | 190                         | 160                        | 170                     |
| Crystal size (mm)                                   | 4 × 4 × 22               | 4 × 4 × 22                  | 4 × 4 × 20                  | 4 × 4 × 20                  | 4.7 × 6.3<br>×30           | 4.7 × 6.3<br>×30        |
| Number of PMTs                                      | 420                      | 420                         | 4/block                     | 4/block                     | 280                        | 256                     |
| Energy resolution (%)                               | 12%                      | 11.7%                       | 12%                         | 12%                         | –                          | –                       |
| Coincidence window (ns)                             | 5                        | 3.8                         | 4.1                         | 4.5                         | 10                         | 10                      |
| Axial FOV (cm)                                      | 18                       | 18                          | 16.2/21.6                   | 16.2/21.6                   | 15.7                       | 15.7                    |
| Acquisition mode                                    | 3D,4D,TOF                | 3D,4D,TOF                   | 3D                          | 3D                          | D,3D,4D                    | 3D,4D                   |