

Измерение временного разрешения детекторов на основе **LaBr₃(Ce)** и **SiPM** при регистрации аннигиляционных гамма-квантов

Студент:

Килинкарров Д.С.

Научный руководитель:

Канцеров В.А.

Консультант:

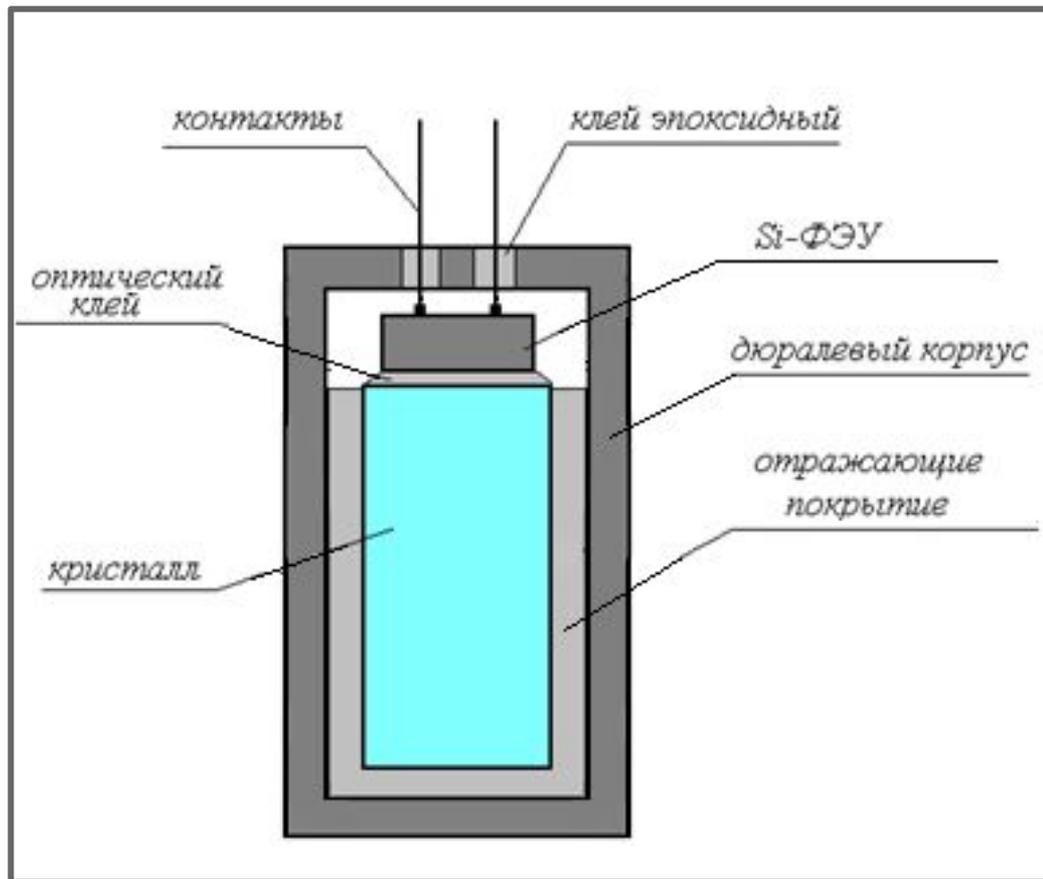
Дубинин Ф.А.

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 LaBr₃(Ce) и SiPM



- Сцинтиллятор: LaBr₃(Ce)
- Форма: цилиндр
- Диаметр: 4 мм
- Длина: 1 см
- SiPM: SensL FC30035

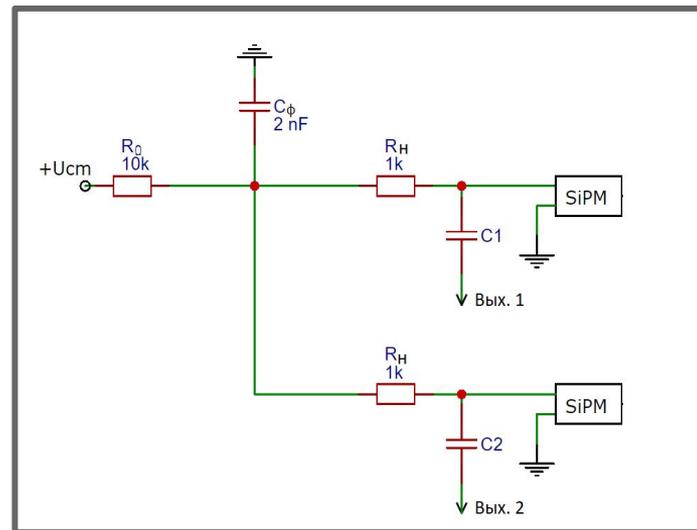


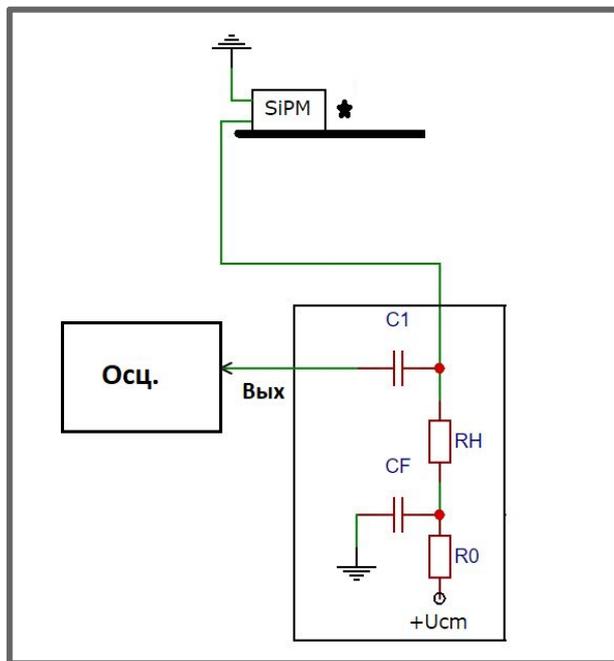
Схема питания SiPM

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

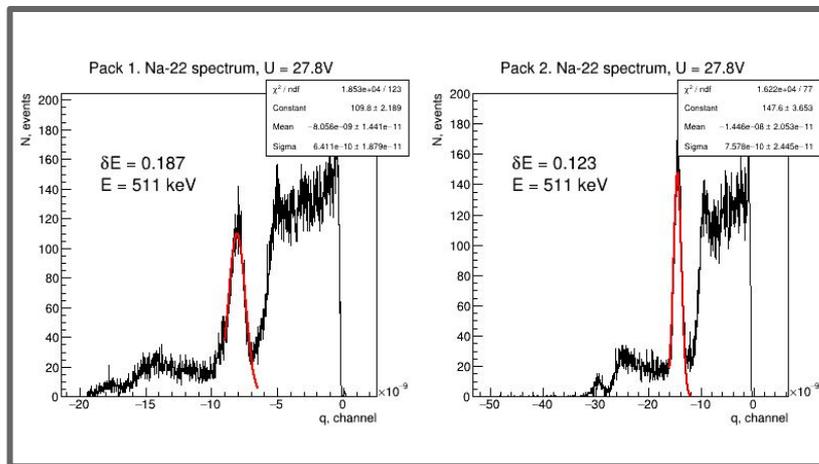
Исследование энергетического разрешения детекторов.

Схема установки

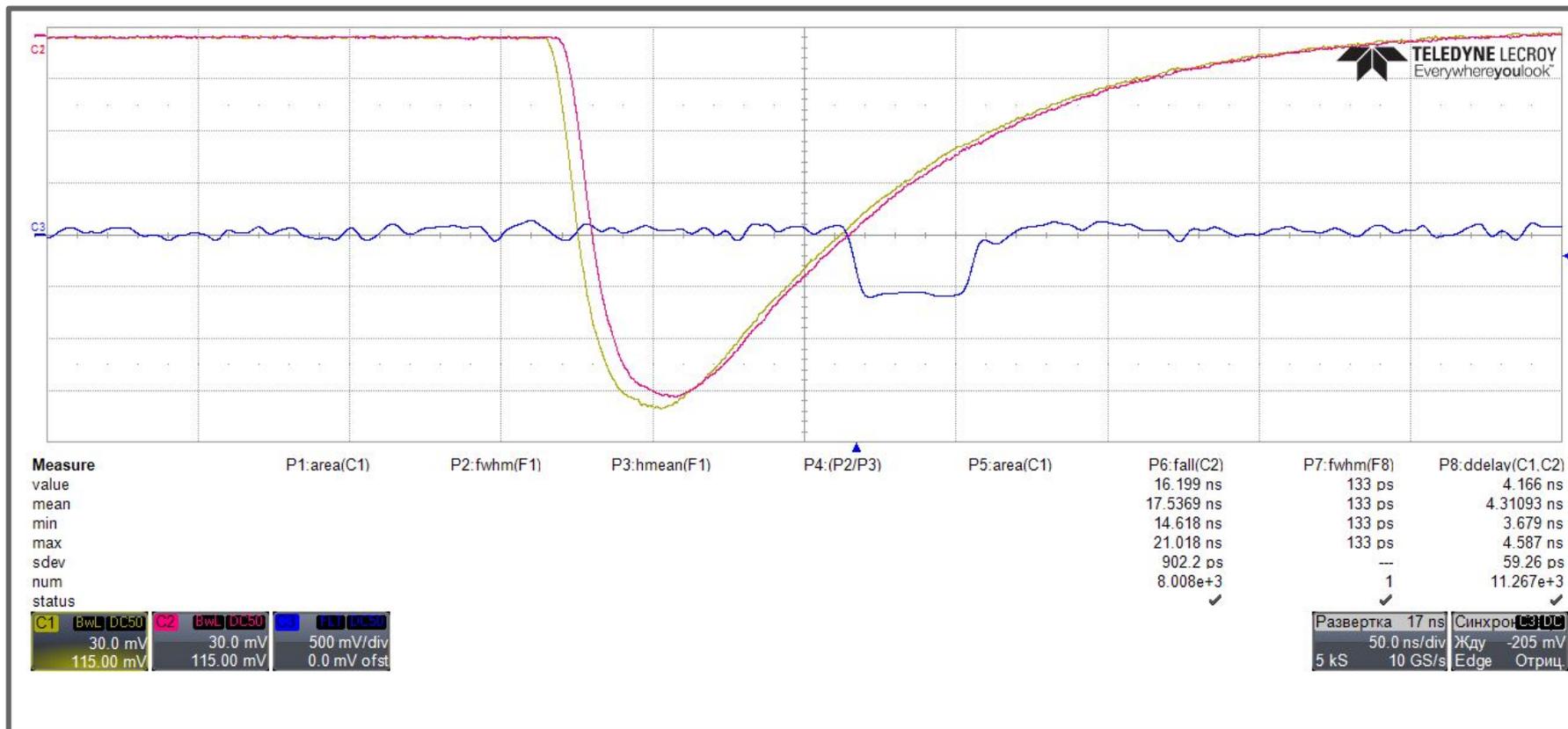


- Источник: Натрий-22
- Осциллограф: LeCroy Waverunner 640Zi
- Источник питания: АКТАКОМ АТН-2031

- Напряжение смещения: 27.8В
- Интеграл спектров: 15 000



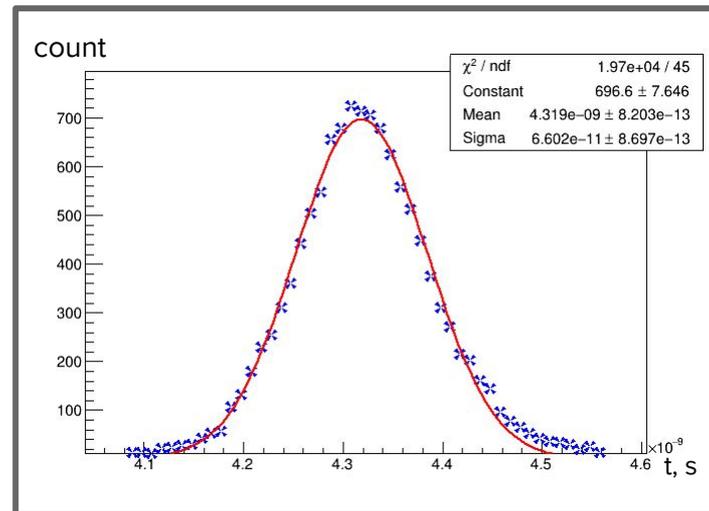
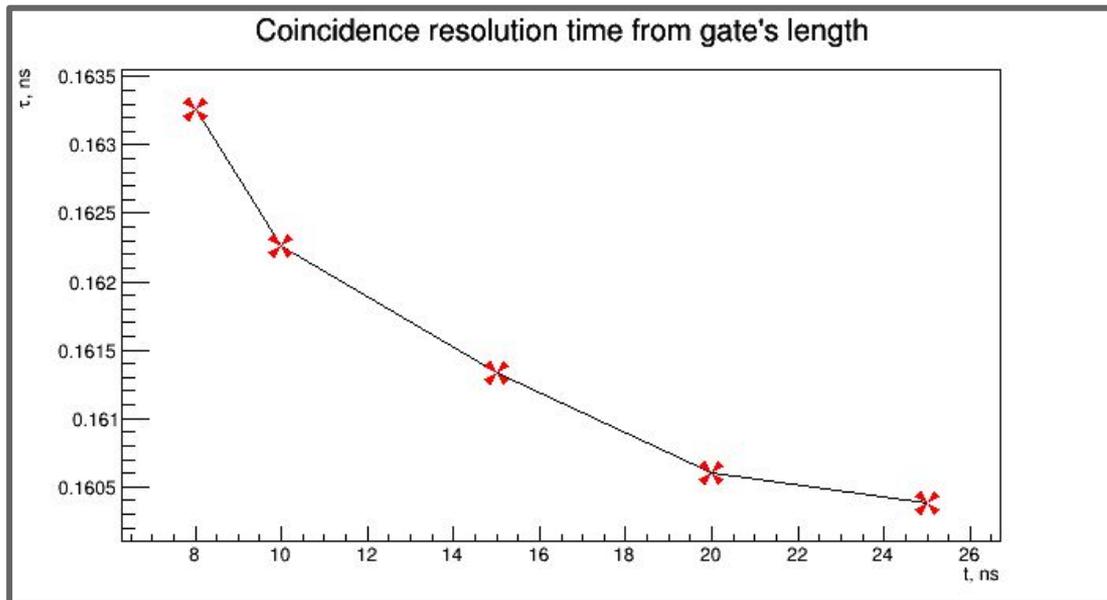
Исследование зависимости временного разрешения установки от длительностей сигналов дискриминаторов. Пример осциллограммы.



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.

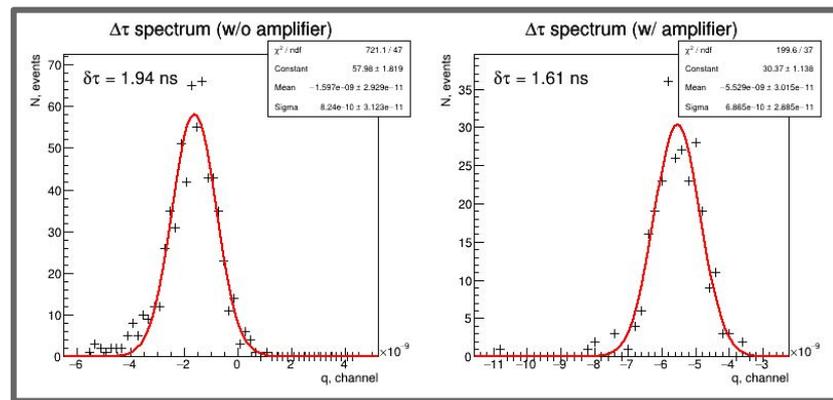
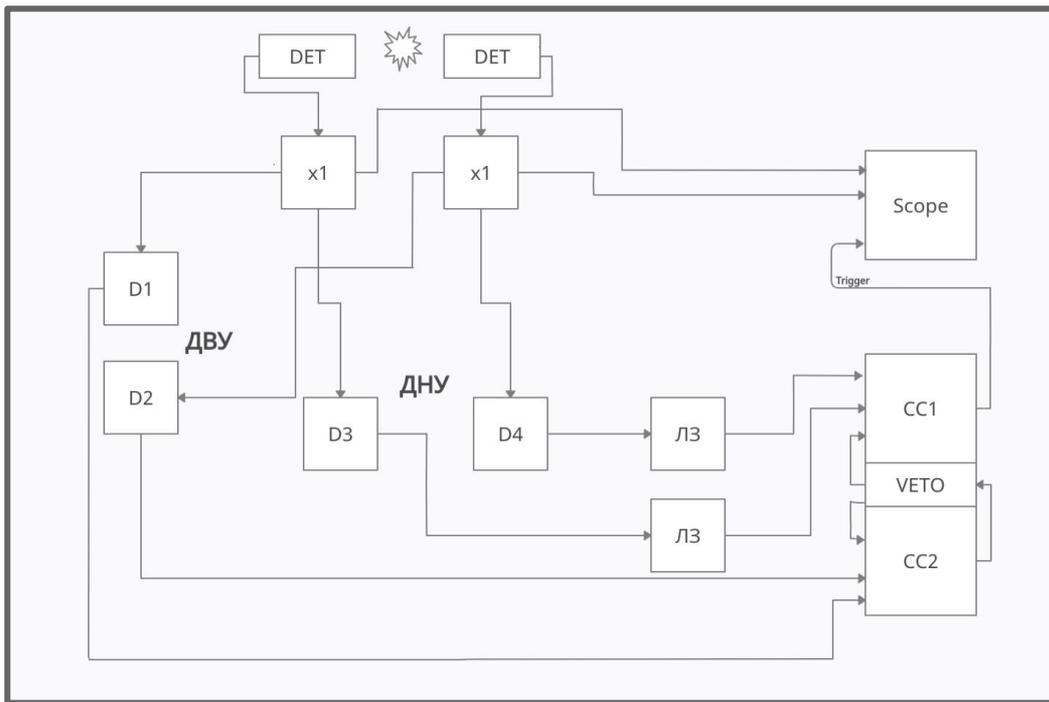
- Временное разрешение: ~162 пс
- Напряжение питания: 27.8 В



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
τ , 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

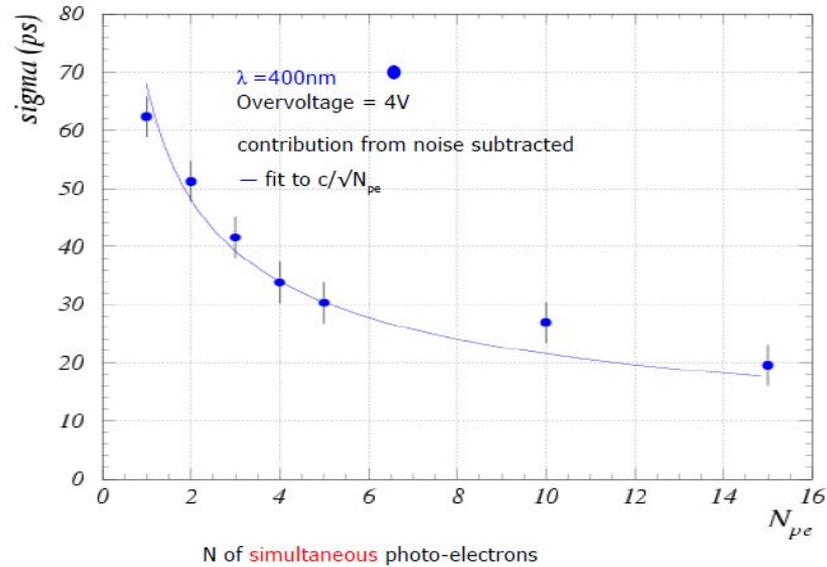
Сцинтиллятор	NaI(Tl)	CsI(Tl)	BGO	LYS O	LSO	LaBr ₃ (Ce)	CeBr ₃
Z _{эф}	51	54	74	63	66	45	46
ρ, г/см ³	3.67	4.51	7.1	7.1	7.4	5.08	5.1
Длина 50% ослабления (662 кэВ), мм	25	20	10	11	11	18	-
η=ΔE/E, % (662 кэВ)	7.5	5.7	9.7	7.1	7.9	3.0	4.3
Световыход, фотонов/кэВ	38	40-45	9	32	27	65-70	47
τ, пс	250	1000	300	41	40	16	17
λ _{чист} , 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 ³)	Scintillation decay time (ns)	Photon yield (per keV)	Linear attenuation coefficient (cm ⁻¹) of 511 keV	Energy resolution (% at 511 keV)
NaI(Tl)	51	3.67	250	38	0.34 ^a	7.8
BGO	74	7.13	300	6	0.96	10
BaF ₂	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) ^b	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 ^c	2.5
LaBr ₃	–	5.3	5	61	–	5.3

Manufacturers→ ^a Models→ Features↓	Philips ^b		Siemens ^c		GE Healthcare ^c	
	GEMINI TF Big Bore	GEMINI TF 64 (PET/CT)	Biograph mCT	Biograph TruePoint	Discovery VCT	Discovery 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 32,448 (TrueV)	24,336 32,448 (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 ×30	4.7 × 6.3 ×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