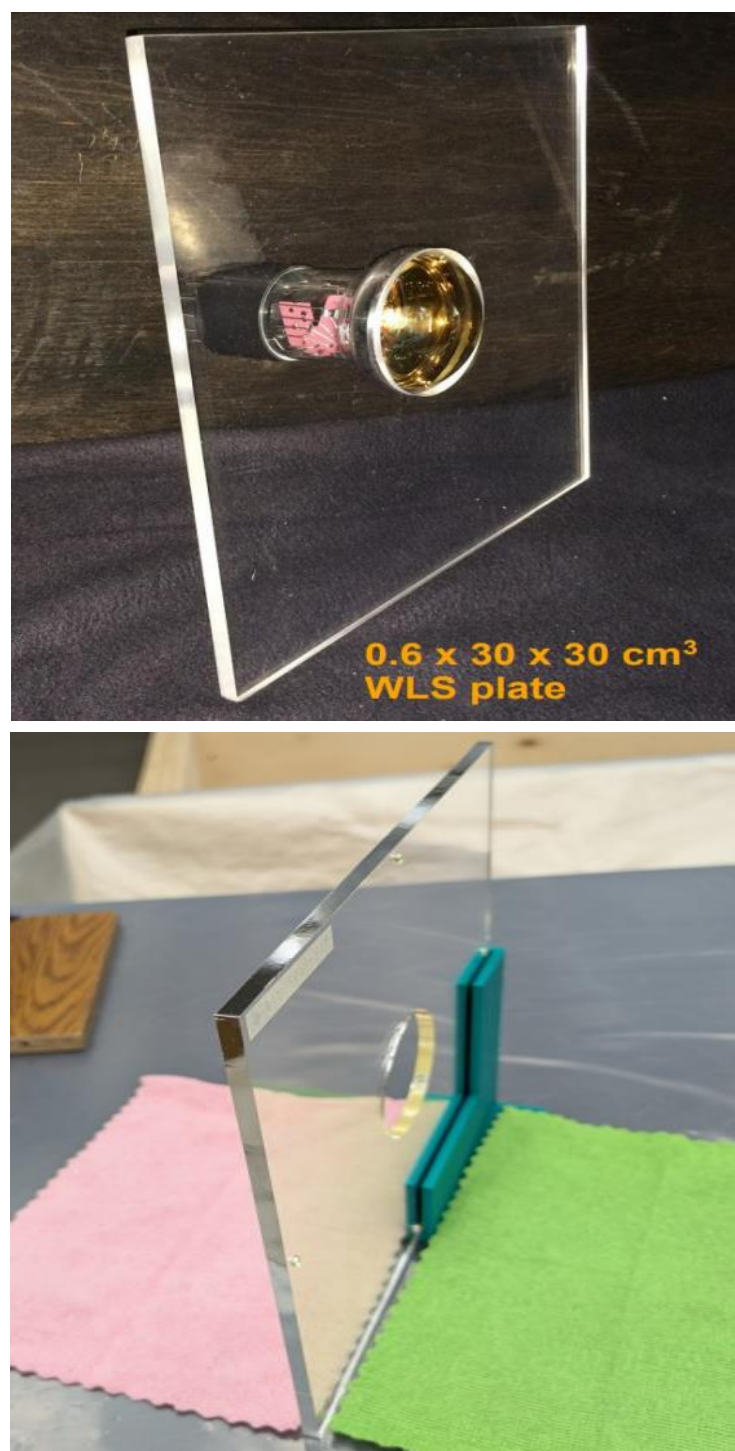


PMT/WLS ОПТИЧЕСКИЕ МОДУЛИ

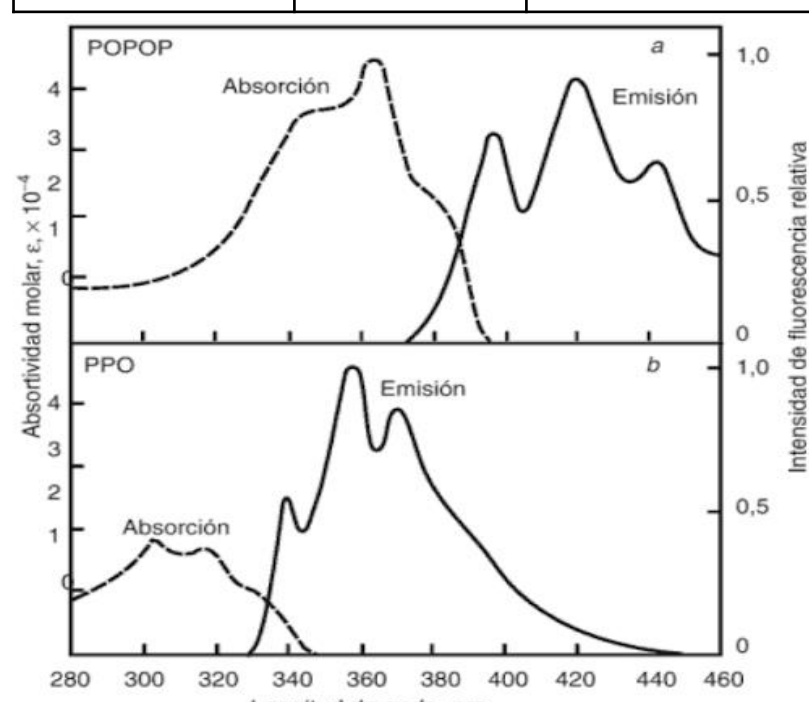
- Оптический модуль внешнего детектора Гипер-Камиоканде состоит из WLS-пластины и ФЭУ. WLS-пластина увеличивает полезную поверхность детектора для сбора света, поглощает черенковское излучение и переизлучает его в чувствительной части спектра ФЭУ.
- WLS-пластины изготавливаются из ПММА (известного как акриловое стекло) с WLS-добавками в «НИИ полимеров им. Каргина» в Дзержинске, Россия.
- Подобные оптические модули могут использоваться в водных черенковских детекторах в качестве компонента систем вето.



WLS ДОБАВКИ

На основании результатов предыдущих исследований было решено использовать добавки POPOP и PPO, а также их комбинации.

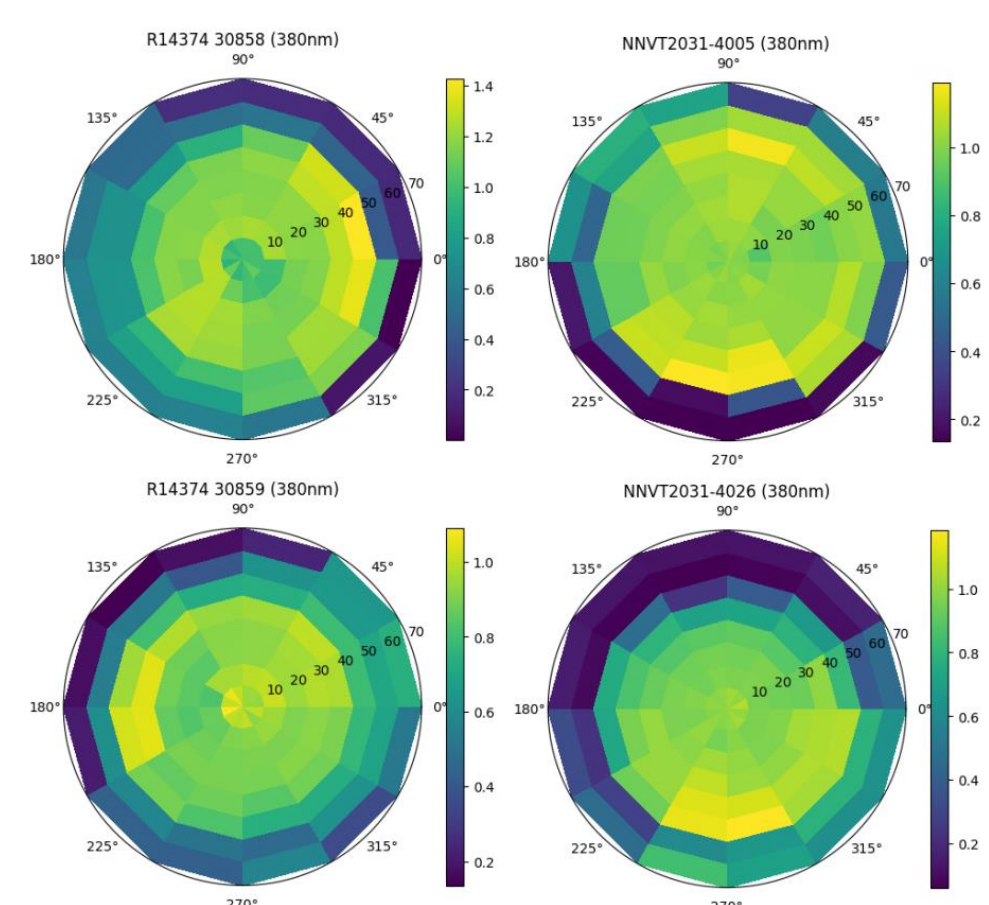
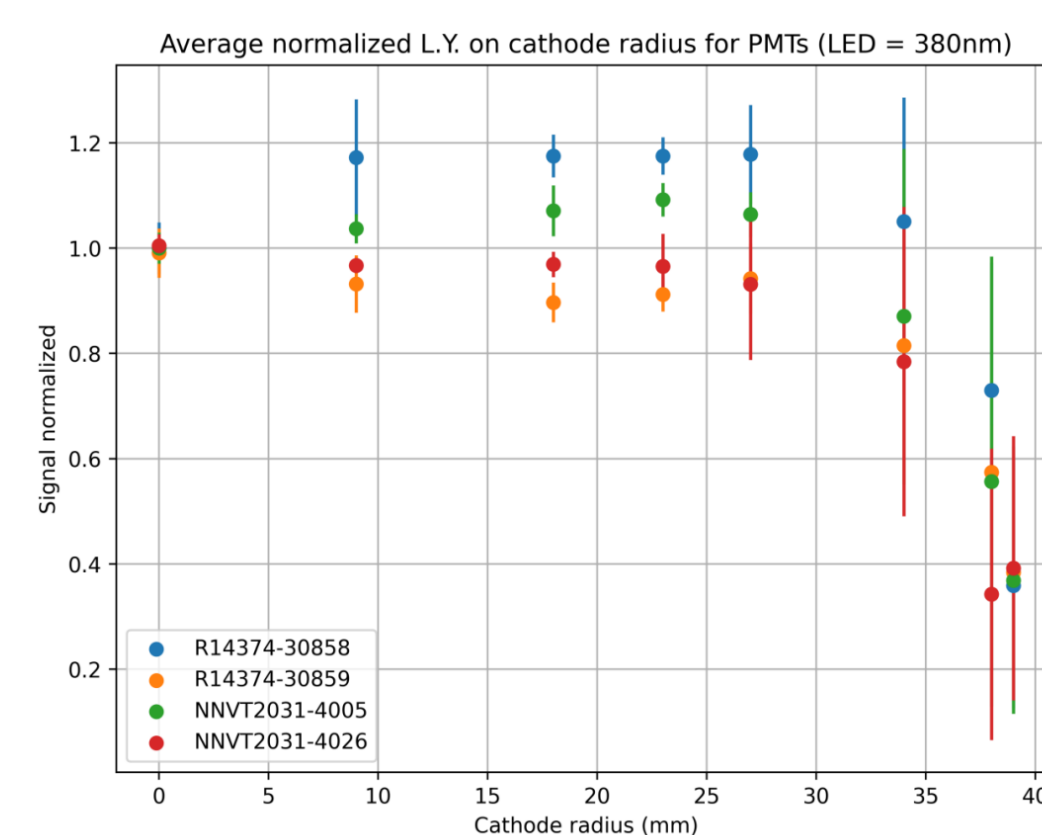
WLS dopant	PPO	POPOP
Absorption spectrum, nm	290÷330 peak: 300	250÷390 peak: 360
Emission spectrum, nm	320÷410 peak: 340÷380	380÷510 peak: 360



ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФОТОКАТОДА ФЭУ

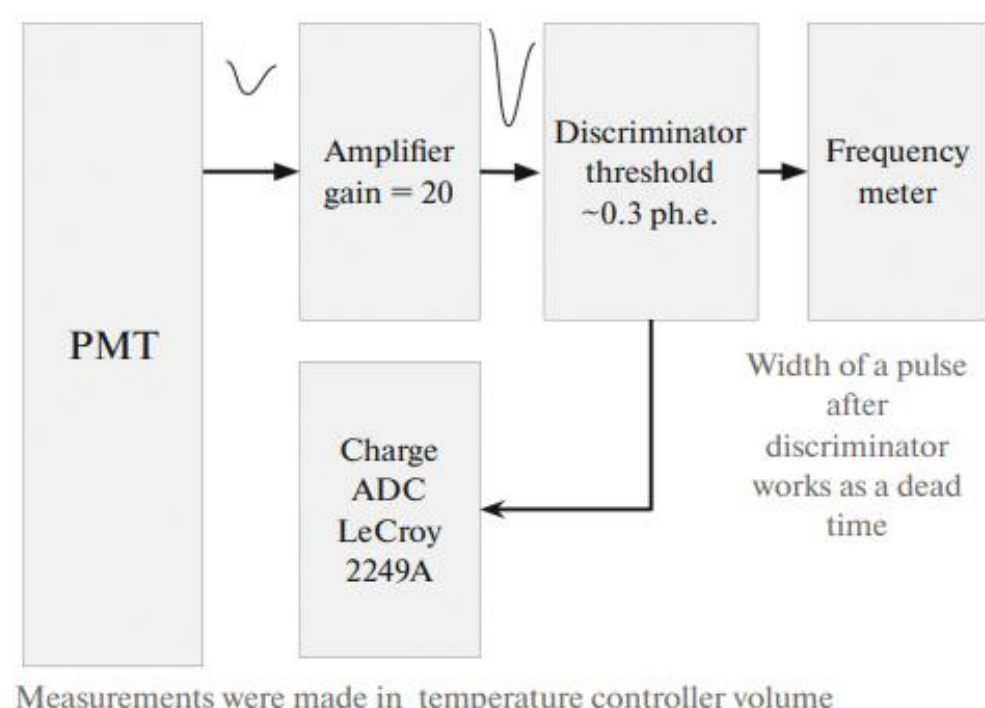
Изменение полярной и азимутальной координат точки засветки позволило построить тепловые карты тестируемых ФЭУ. Чувствительность катода оценивалась на основе тепловых карт. Результат теста для светодиода 380 нм:

- Сигнал значительно ослабевает, когда светодиод перемещается в область за пределами указанного производителем диаметра фотокаатода ($\varnothing 72$ мм).
- R14374 обладает более стабильной чувствительностью катода, особенно в зоне контакта с ФЭУ.



ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

Для создания детекторов на основе оптических модулей ФЭУ/ВЛС крайне важно оценить их темновой счет, поскольку это может иметь решающее значение для отбора редких событий. Все измерения проводились с порогом $\sim 0,3$ ф.э. в изолированном объеме при постоянной заданной температуре.



Измерения темнового счета оптического модуля PMT/WLS. Порог: $0,25 \div 0,3$ ф.э. Температура: $13 \div 14^\circ\text{C}$. ФЭУ: Hamamatsu R143473. Мертвое время для подавления послесигналов: 250 нс.

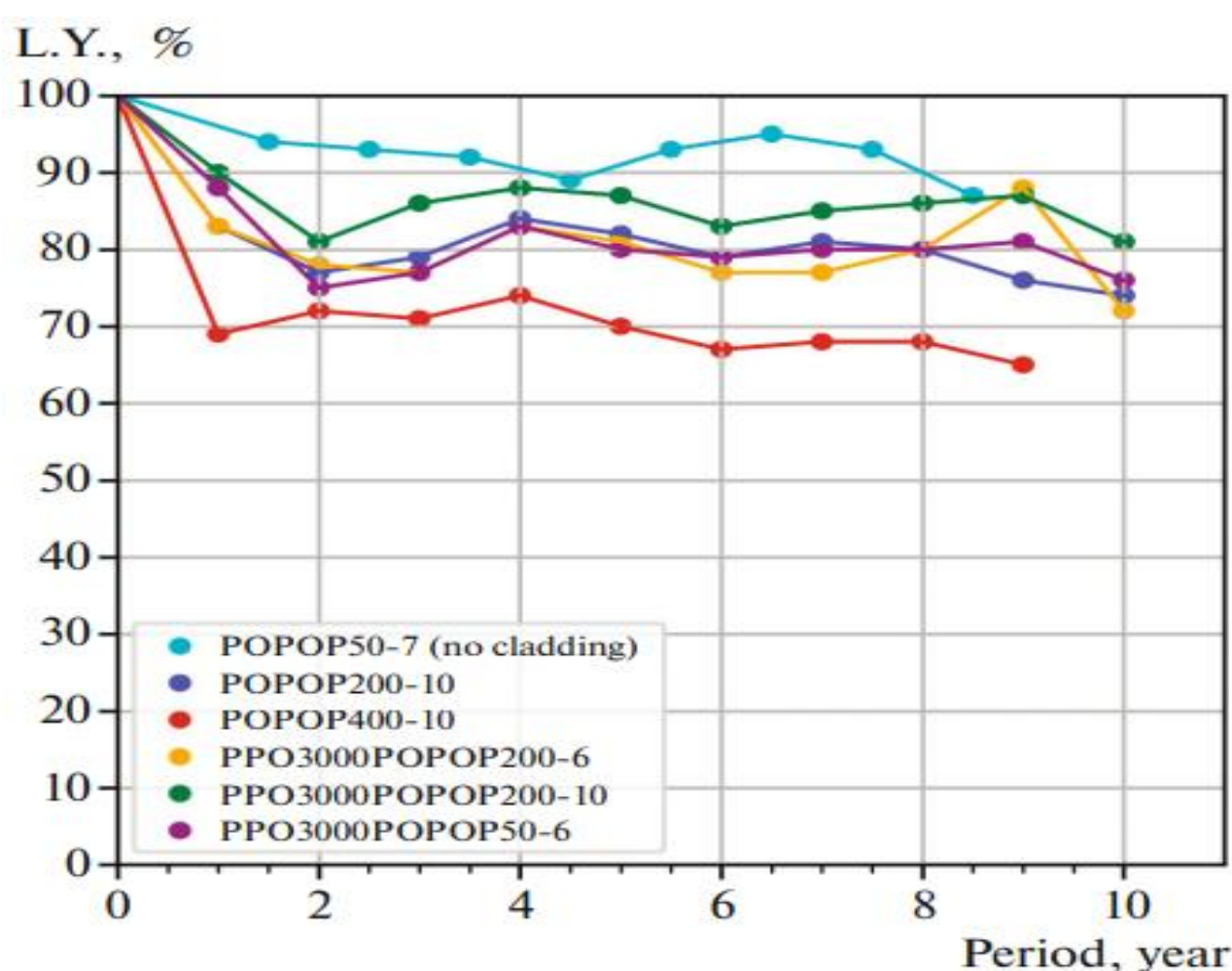
WLS Plate	Dark Rate, Hz
Bare PMT	200
POPOP800	750
POPOP400	500
POPOP200	400
POPOP50	350
POPOP50PPO3000	650

Вклад в темновой счет оптического модуля PMT/WLS для пластины POPOP400. Пороговое значение: $0,25 \div 0,3$ ф.э.. Температура: $13 \div 14^\circ\text{C}$. ФЭУ: Hamamatsu R143473.

Source of the Dark Rate	Dark Rate, Hz
Bare PMT	200
Reflected PMT photons	50
Background in lab	100
Originated in WLS plate	150
Total for POPOP400	500

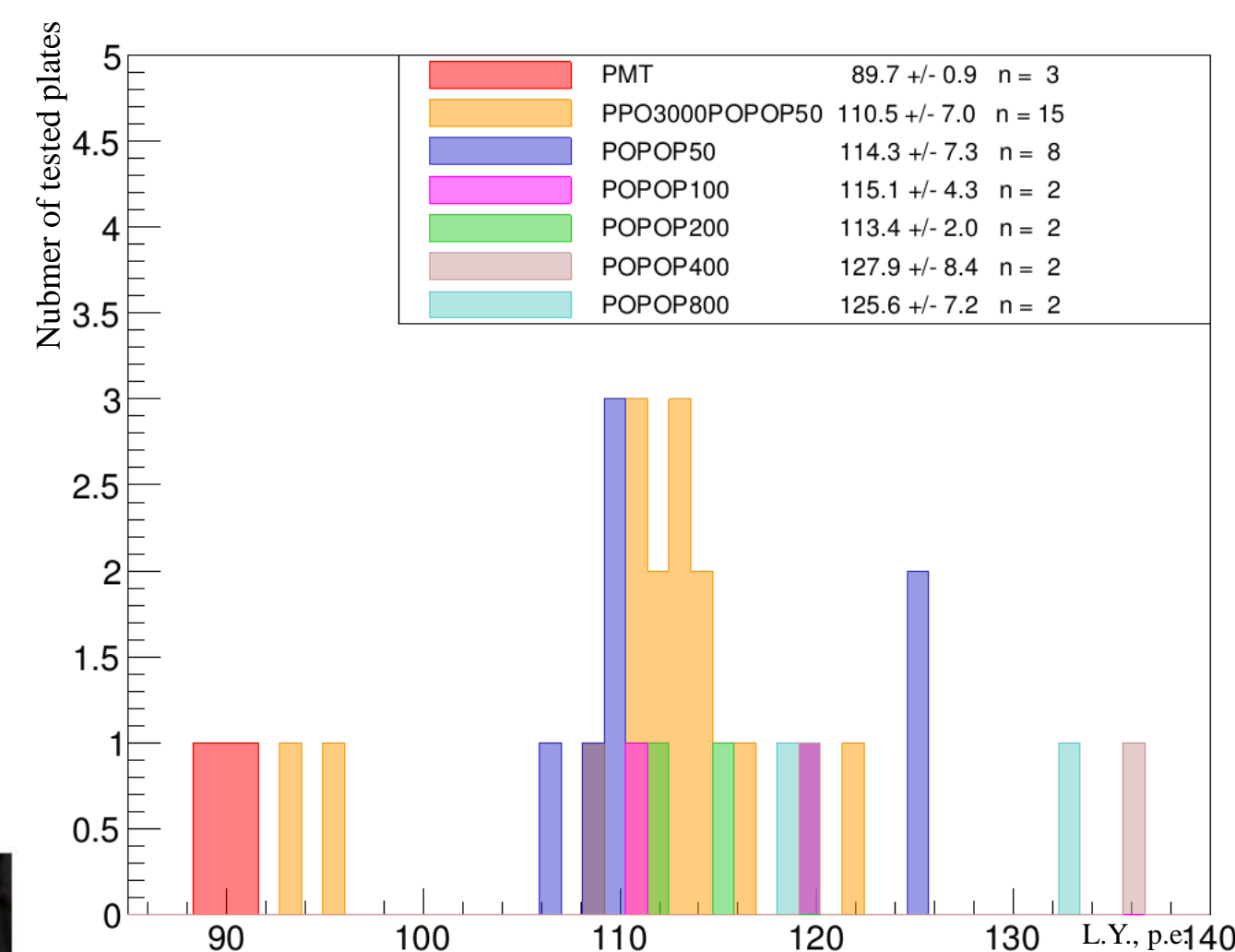
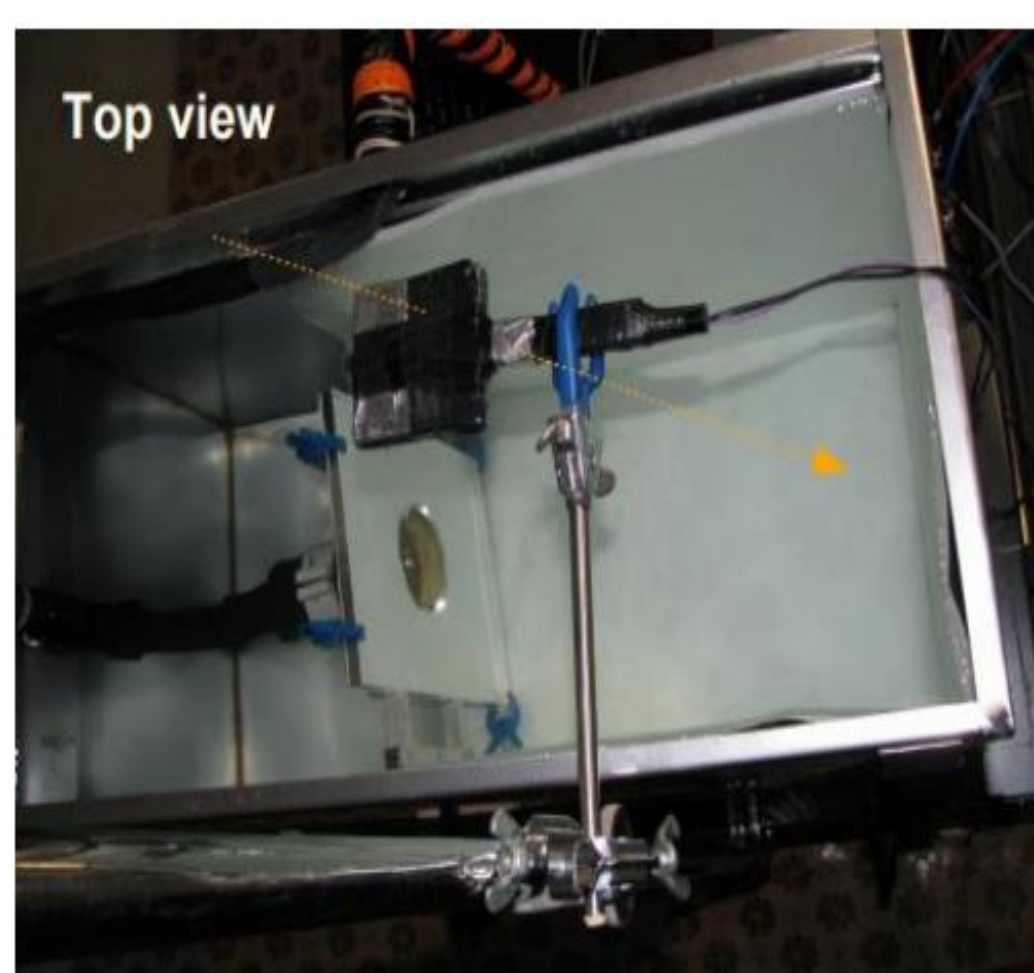
СТАРЕНИЕ WLS-ПЛАСТИН

Пластины подвергались старению в печи при постоянной температуре. С интервалом в две недели регистрировалась средний световой выход от УФ-светодиодного источника в нескольких точках на каждой пластине, и эти значения нормировались относительно исходных уровней до старения. Годовая скорость снижения сигнала составляет менее 2%.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЧЕРЕНКОВСКОМ ДЕТЕКТОРЕ

Источник света: отраженный черенковский свет от космических мюонов
ФЭУ: Hamamatsu R14374
Отражатель: Tyvek, толщина 190 мкм на обратной стороне пластины, полимерная пленка 3D DF2000MA по периметру
Вода: дистиллированная для промышленных целей



	TOTAL L.Y., p.e.	WLS plate contribution to total L.Y., p.e.	Detection efficiency increase
PMT	89.7	-	1.00
PPO3000 POPOP50	200.2	110.5	2.23
POPOP50	204.0	114.3	2.27
POPOP100	204.8	115.1	2.28
POPOP200	203.1	113.4	2.26
POPOP400	217.6	127.9	2.43
POPOP800	215.3	125.6	2.40

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Izmailov, A. et al. Light Collection System by Means of the WLS Plates for the Outer Detector of the Hyper-Kamiokande Project. Phys. Part. Nuclei 56, 656–661 (2025).
- Stroke, Y., Erofeev, G., Fedotov, S. et al. PMT/WLS Plate Optical Modules for Cherenkov Detectors. Phys. Atom. Nuclei 88, 482–488 (2025).