

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

«Измерение характеристик
крупногабаритных фотоэлектронных
умножителей для эксперимента JUNO»

Студент: Шаров В. И

Научный руководитель: инженер ЛЯП ОИЯИ Селюнин А. С

Цель эксперимента

Параметр	Значение	Эксперимент
$\sin^2 2\theta_{12}$	0.846 ± 0.021	KamLAND [1], глобальный анализ
$\sin^2 2\theta_{23}$	$0.999^{+0.001}_{-0.018}$	T2K
$\sin^2 2\theta_{13}$	0.084 ± 0.005	Daya Bay
Δm_{21}^2	$(7.53 \pm 0.18) \times 10^{-5} \text{ эВ}^2$	KamLAND [1], глобальный анализ
$ \Delta m_{32}^2 $	$(2.44 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{ эВ}^2$	MINOS+T2K+Daya Bay
$\text{sign}(\Delta m_{32}^2)$	неизвестно	
δ_{CP}	неизвестно	

Таблица 1: Значение параметров осцилляций нейтрино по данным PDG 2014. Значение представлено в предположении нормальной иерархии масс. Для δ_{CP} приведено последнее измерение эксперимента Daya Bay.

$$\begin{array}{c}
 | \quad || \quad | \quad \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad (1) \\
 \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad (2) \\
 \boxed{} \quad (3)
 \end{array}$$

1. NH, НИ, нормальная:



2. IH, ОИ, обратная:



Эксперимент JUNO



Рисунок 1. Строительство шахты, ведущей к детектору JUNO

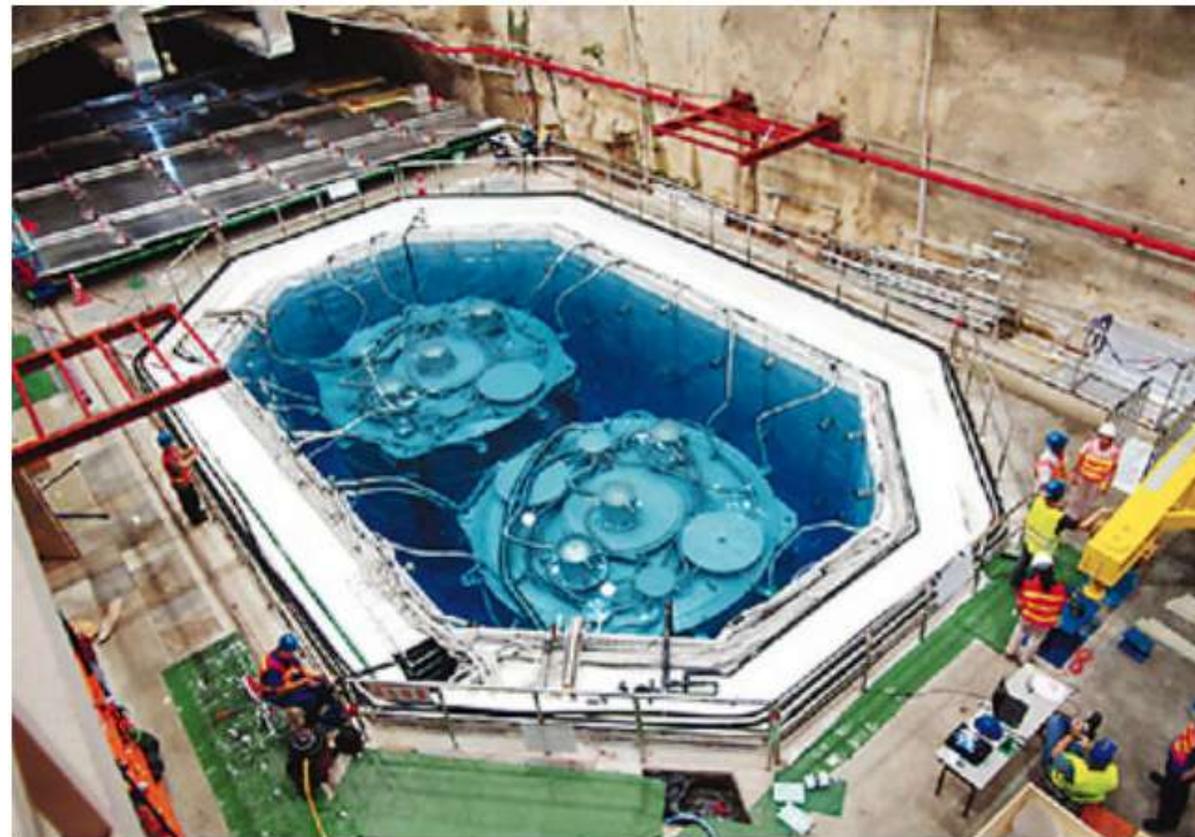
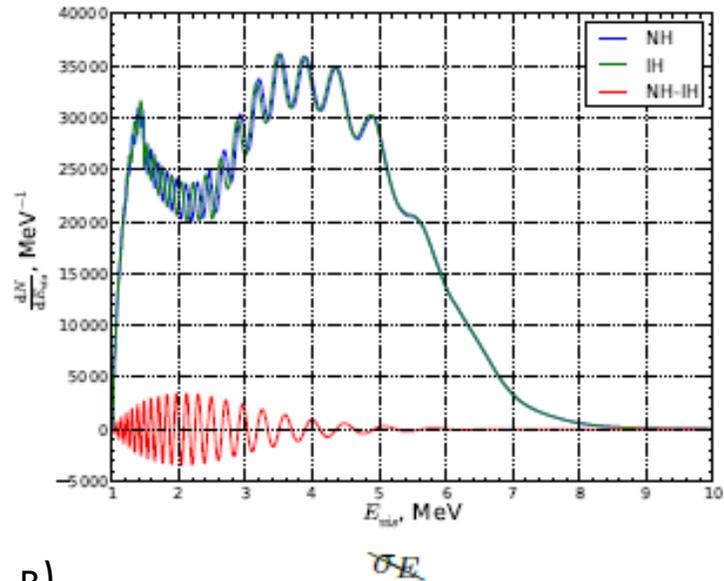
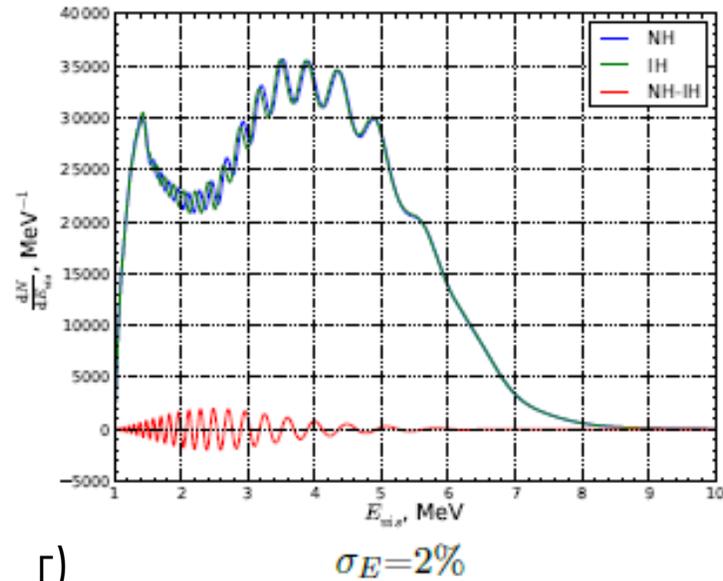


Рисунок 2. Конструкция детектора JUNO будет подобна детектору Daya Bay

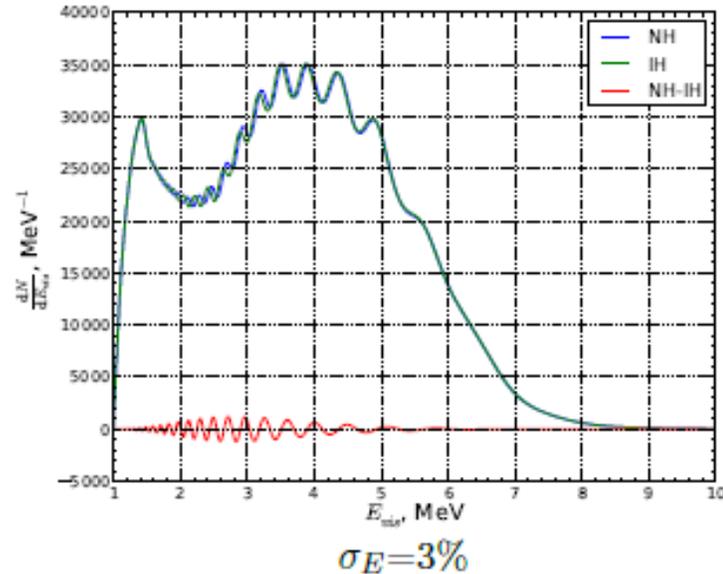
а)



б)



в)



г)

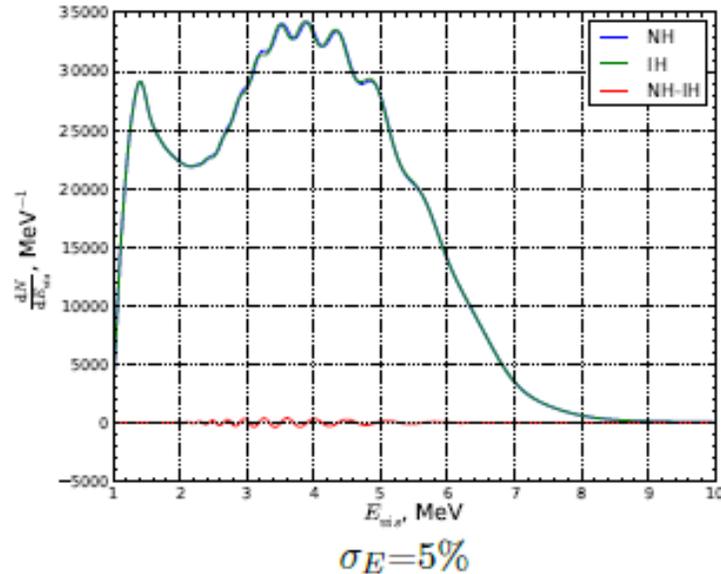


Рисунок 3. Ожидаемый после пяти лет набора данных в эксперименте JUNO спектр антинейтрино для случая нормальной (NH) и обратной (IH) иерархий: а) для случая идеальной реконструкции энергии; б) 2%, в) 3%, г) 5%

Детектор JUNO

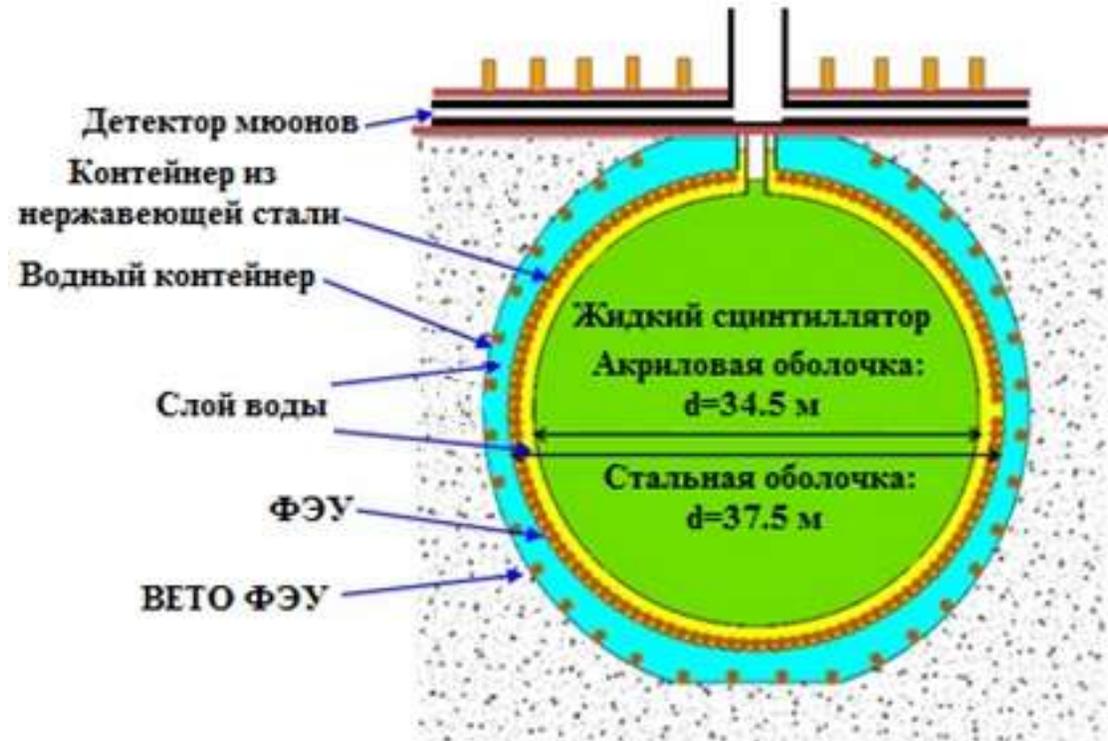


Рисунок 4. Устройство детектора JUNO

а)



б)



Рисунок 5. Результаты измерения магнитного поля на примере вертикальной компоненты: а) без компенсации магнитного поля Земли; б) с компенсацией магнитного поля Земли

«Тёмная комната»



Рисунок 6. Совмещенное LED освещение темной комнаты

Сканирующий стенд

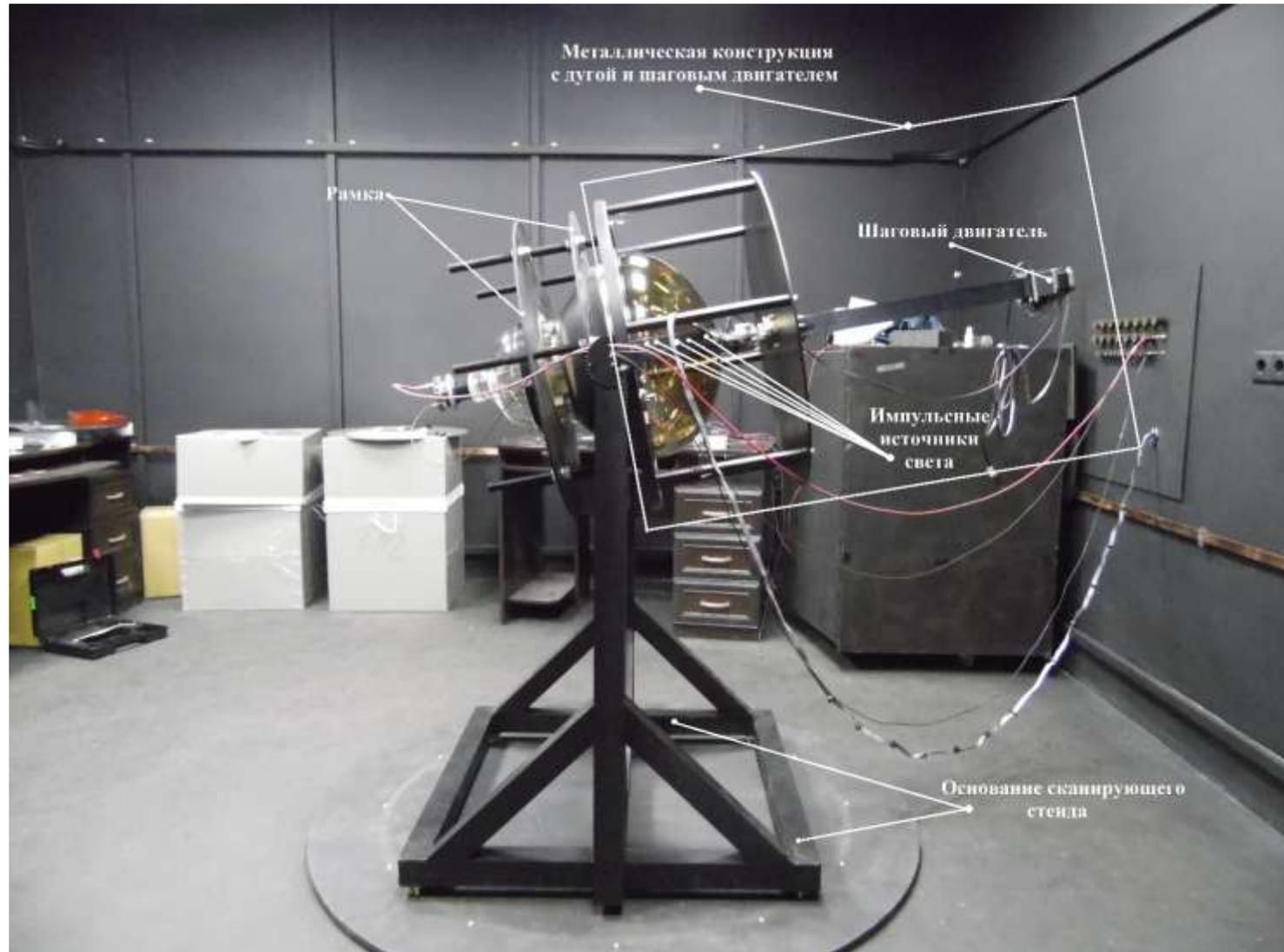
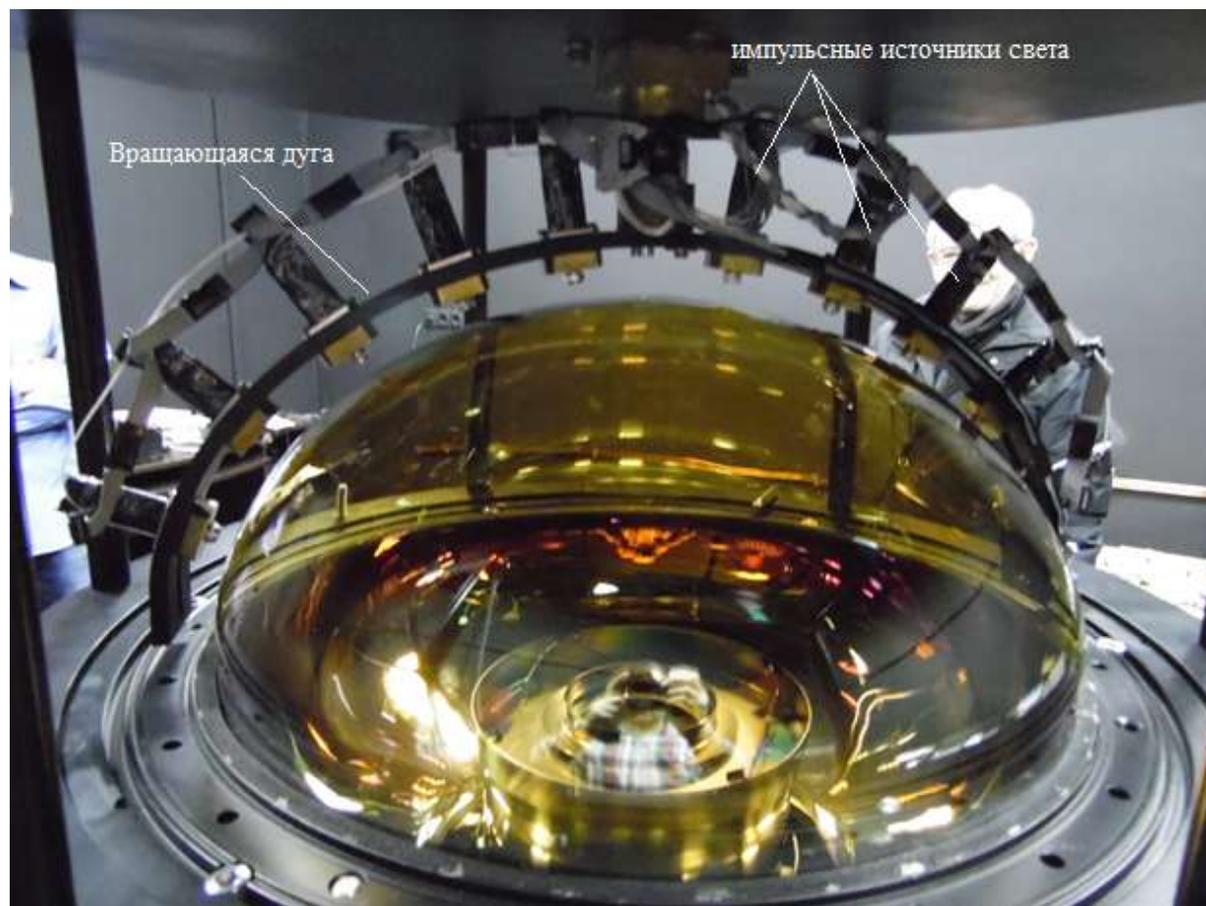


Рисунок 7. Сканирующая станция с установленным ФЭУ (R12860 HQE)

а)



б)

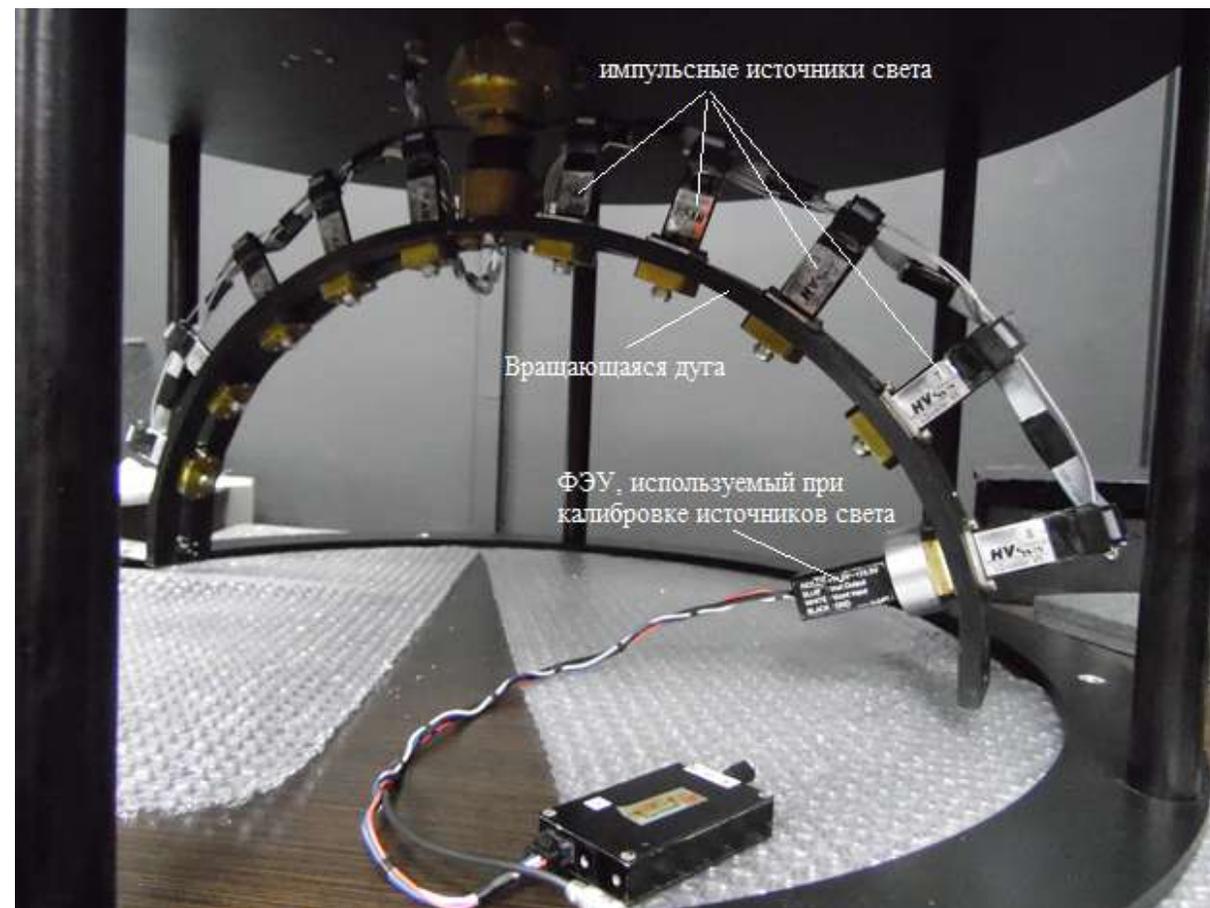


Рисунок 8. (а) Исследуемый 20" ФЭУ (R12860 HQE) и (б) импульсные источники света, установленные на вращающейся дуге

Установка для сканирования ФЭУ

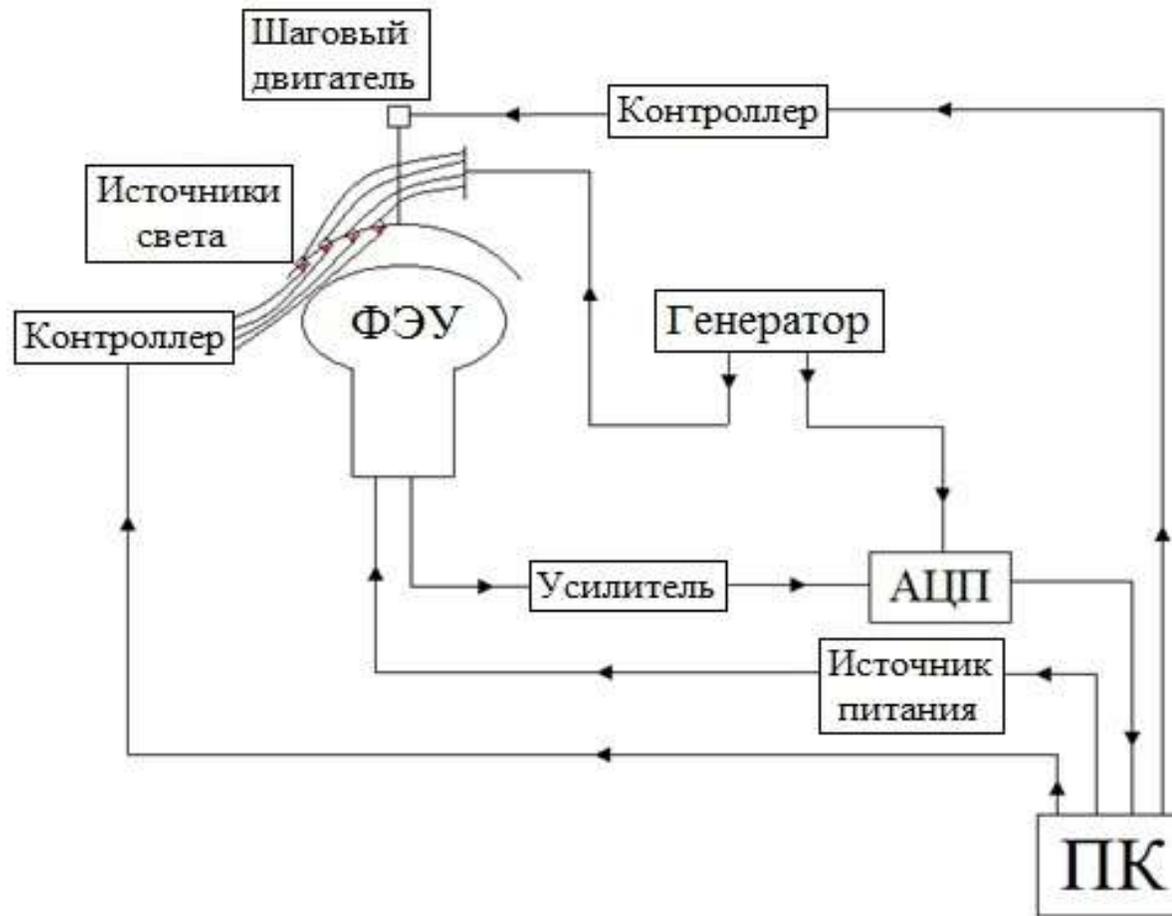


Рисунок 9. Блок-схема установки для сканирования поверхности фотокатода ФЭУ

Импульсный источник света

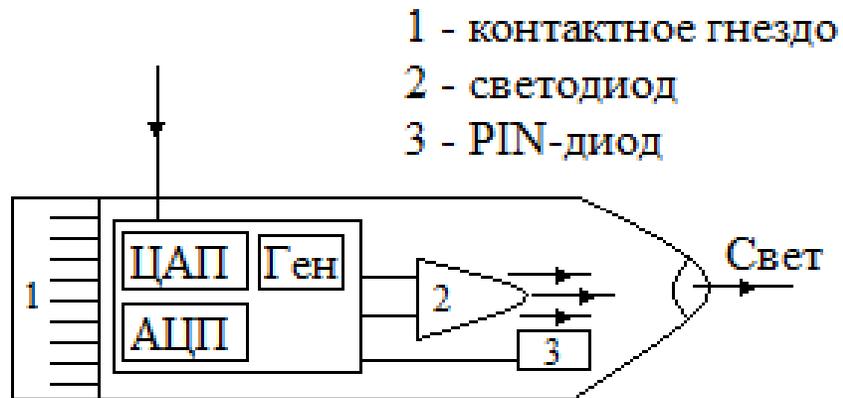


Рисунок 10. Схема устройства импульсного источника света



Рисунок 11. Внешний вид импульсного источника света

Метод вспышек света малой интенсивности

$$P(\mu, n) = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!}$$

$$P(\mu, 0) = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(P(\mu, 0))$$

$$P(\mu, 0) = \frac{N_0}{N}$$

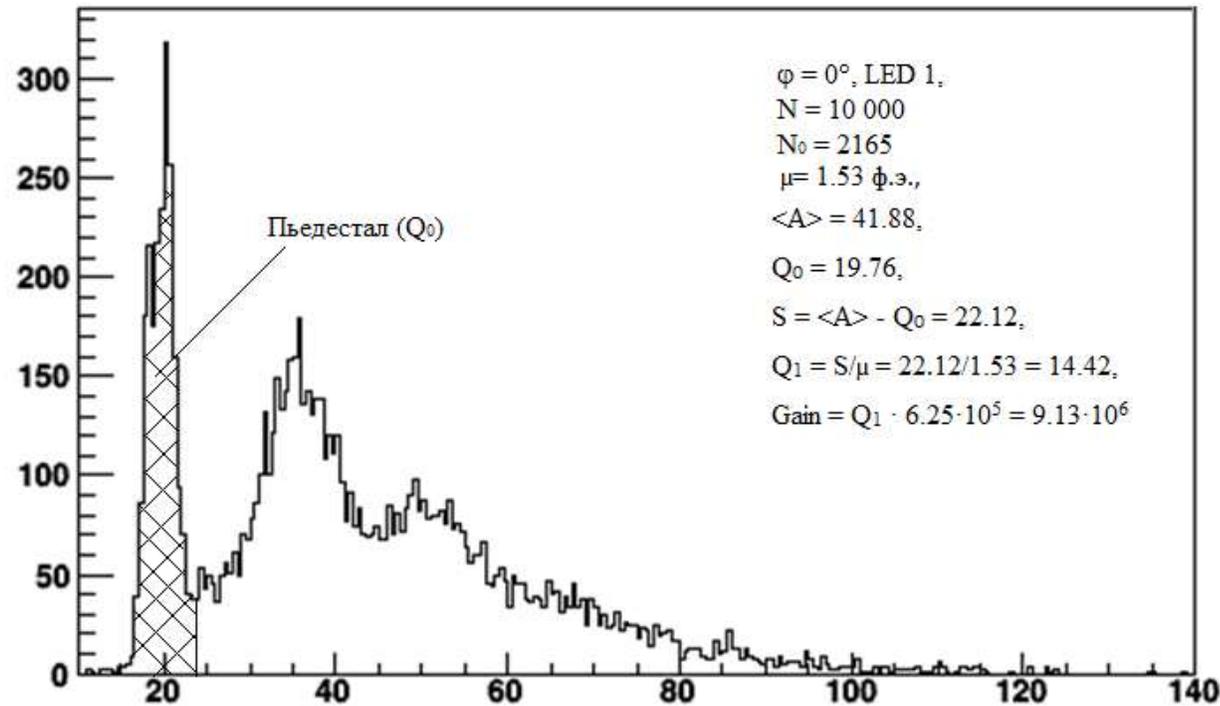
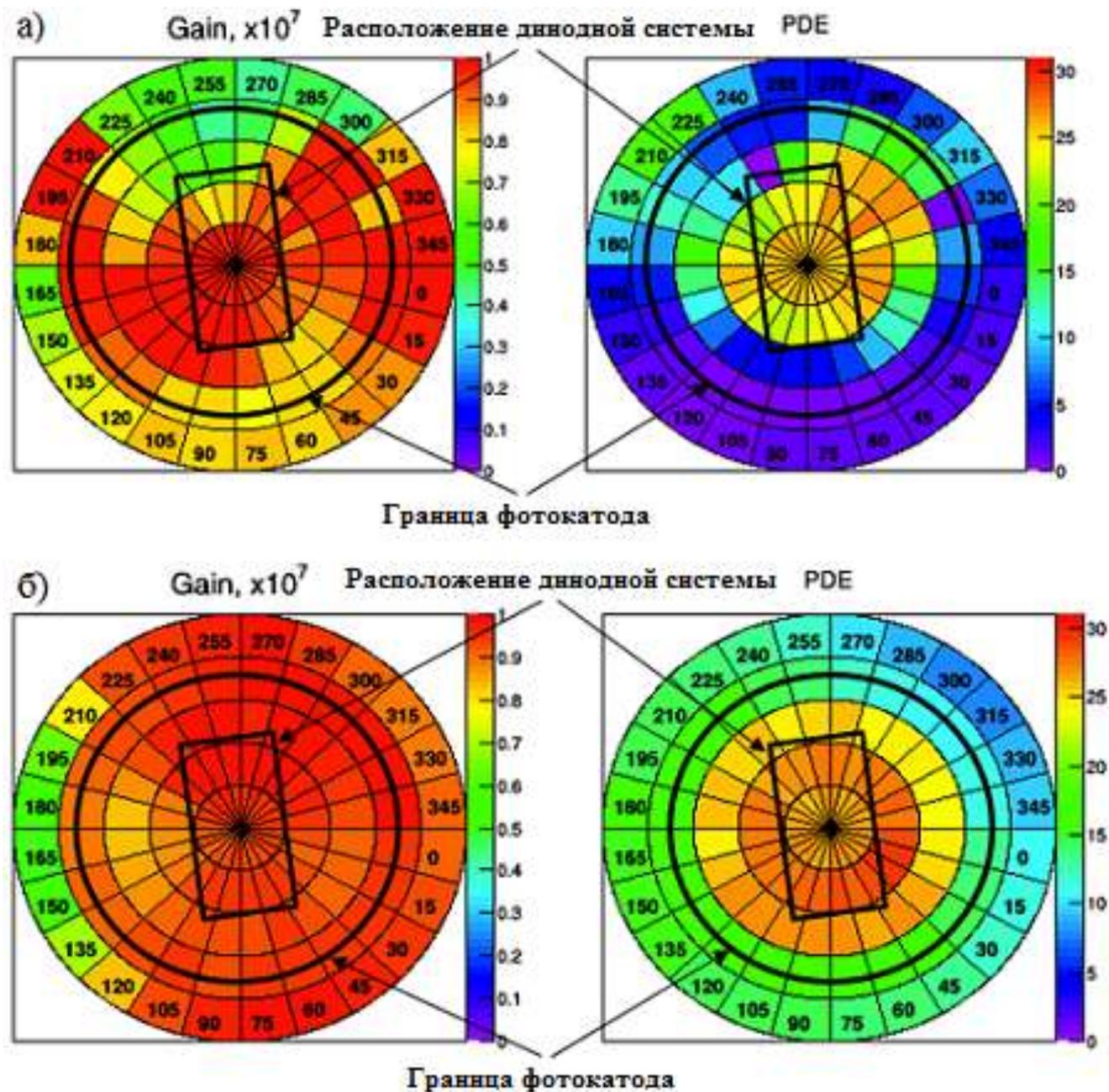


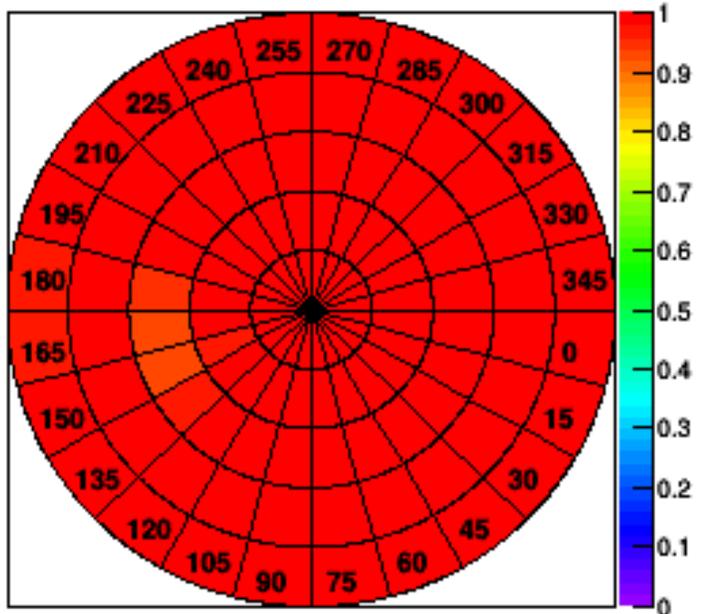
Рисунок 12. Типичный спектр, полученный при облучении источником света ФЭУ R12860 HQE

Полученные результаты

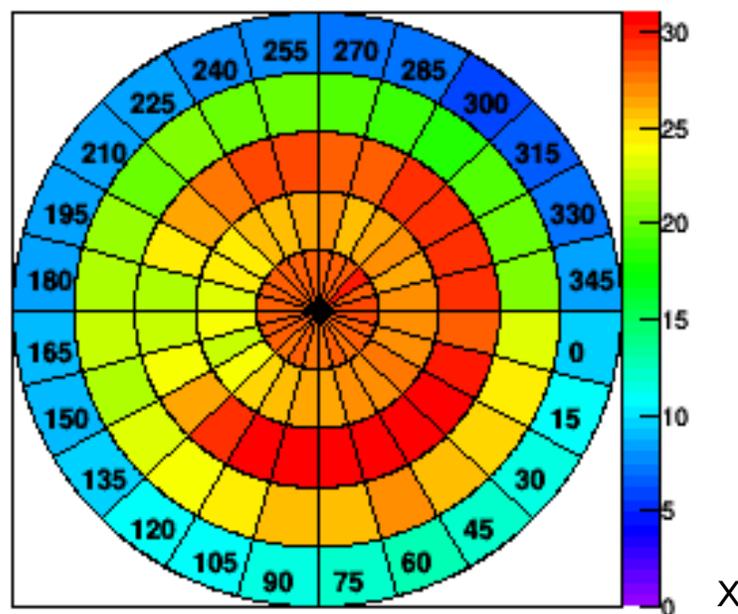
Рисунок 13. Карта сканирования фотокатода ФЭУ R12860 HQE: а) без компенсации магнитного поля Земли; б) с компенсацией магнитного поля Земли.



Gain, $\times 10^7$

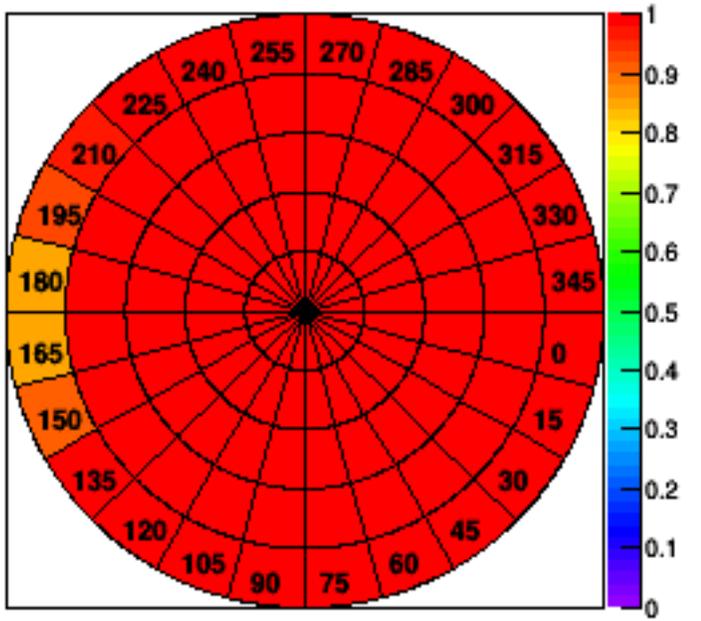


PDE

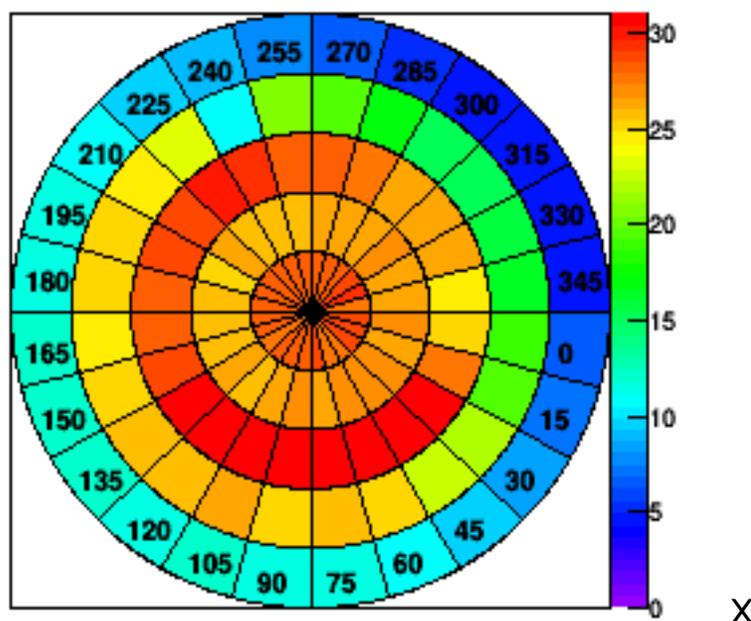


- = 0.1 мкТл
- = 2.2 мкТл
- = 0.4 мкТл

Gain, $\times 10^7$

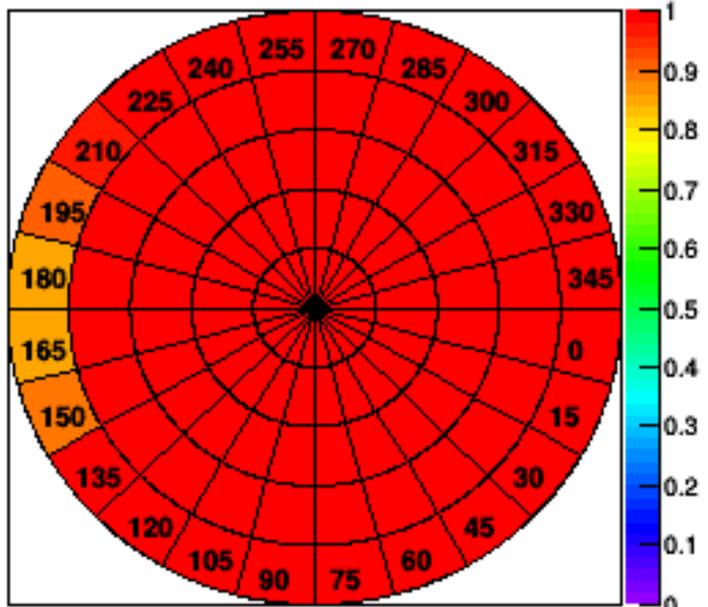


PDE



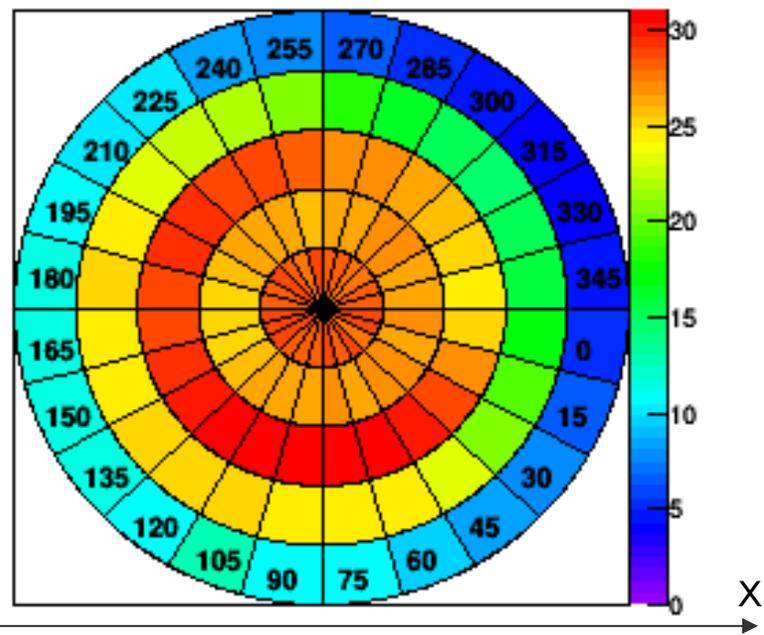
- = 5.0 мкТл
- = 1.8 мкТл
- = 0.4 мкТл

Gain, $\times 10^7$



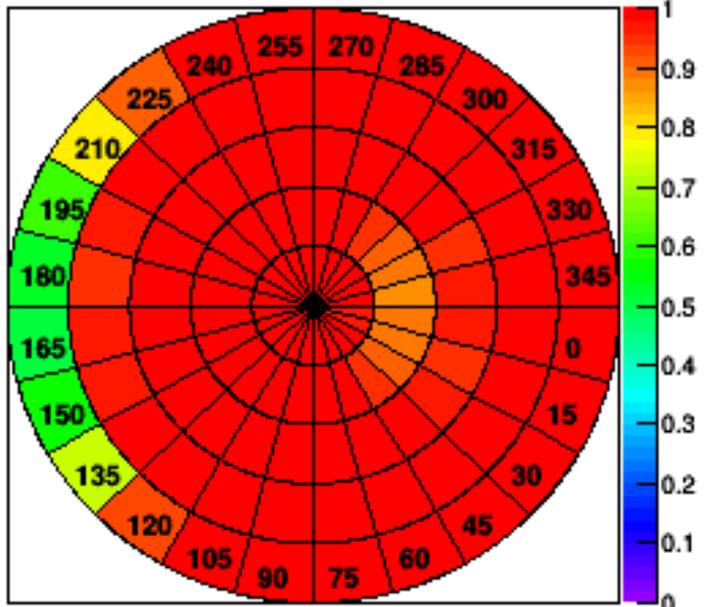
Y

PDE



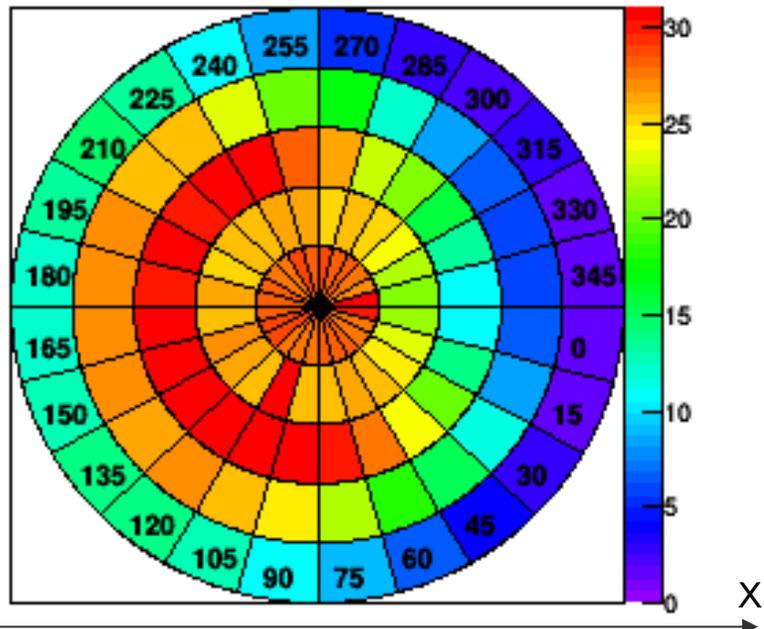
- = 10.0 мкТл
- = 1.6 мкТл
- = 0.4 мкТл

Gain, $\times 10^7$

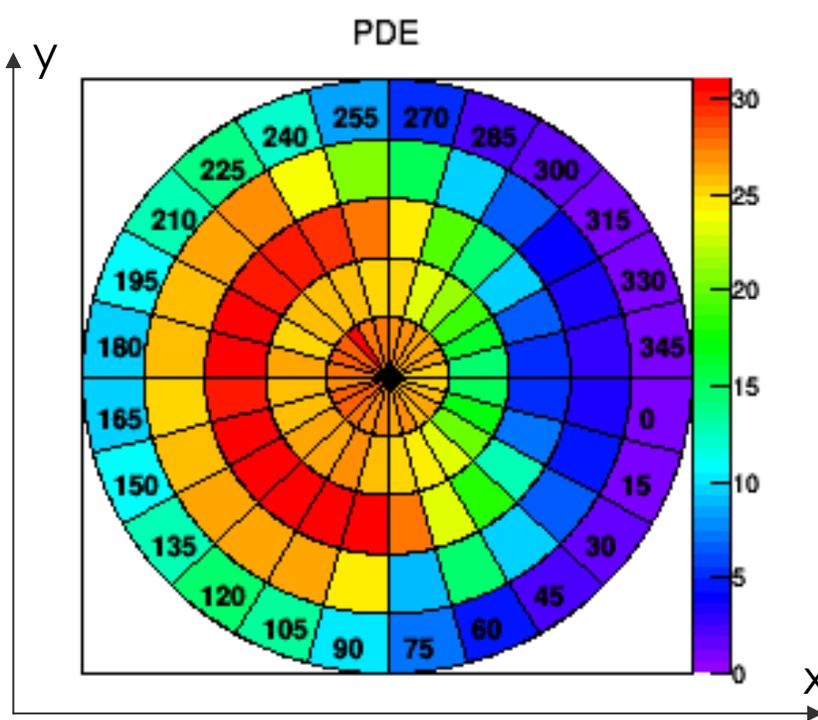
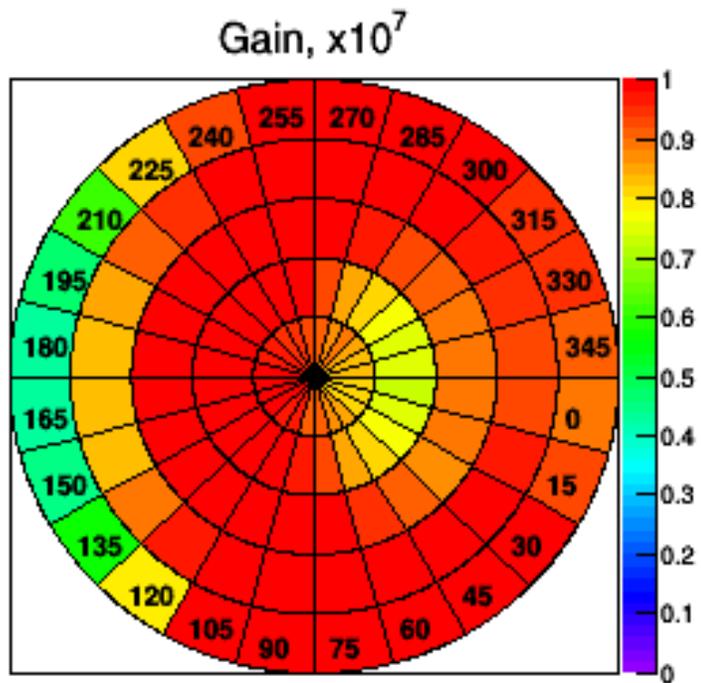


Y

PDE

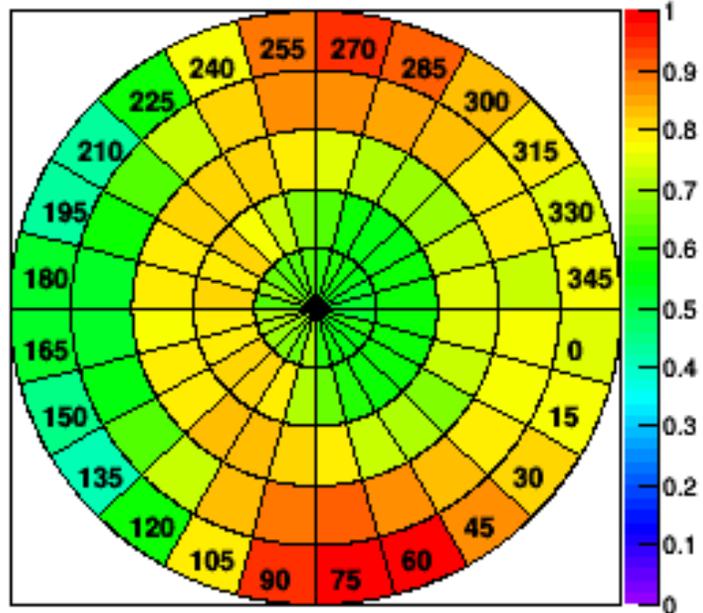


- = 15.0 мкТл
- = 1.4 мкТл
- = 0.4 мкТл

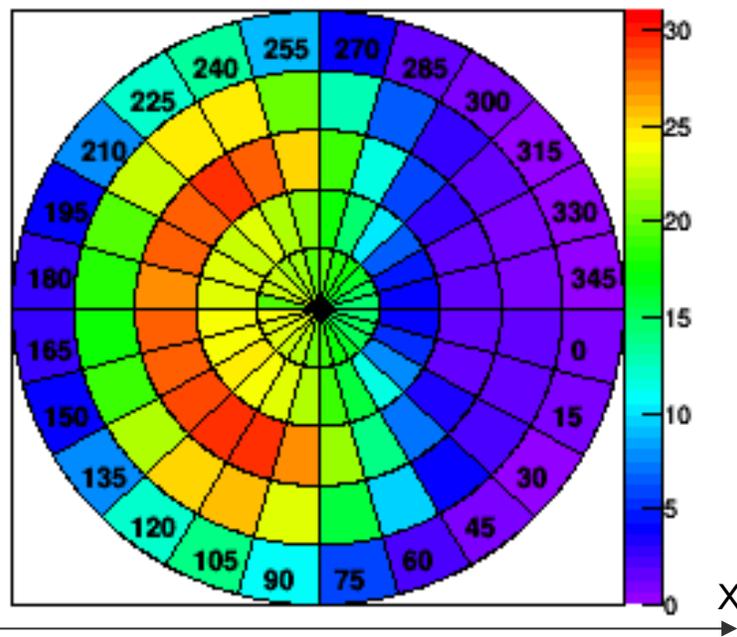


- = 20.0 мкТл
- = 1.0 мкТл
- = 0.4 мкТл

Gain, $\times 10^7$



PDE

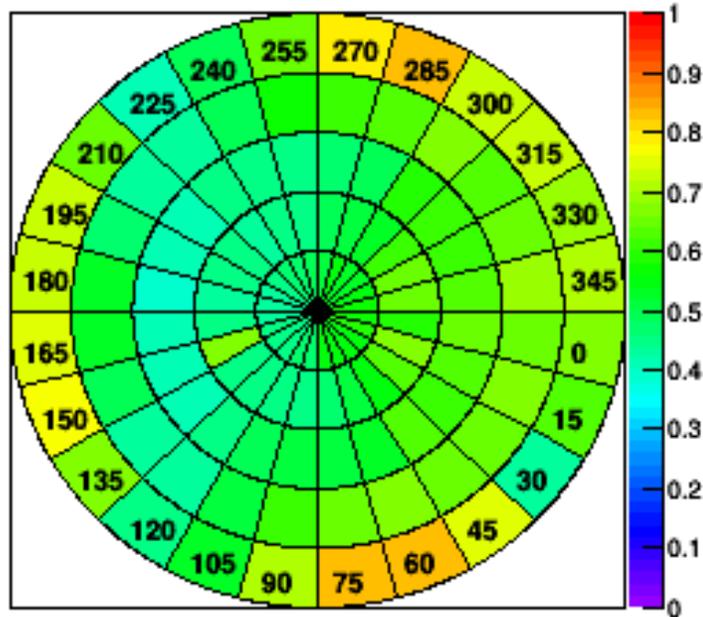


➤ = 30.0 мкТл

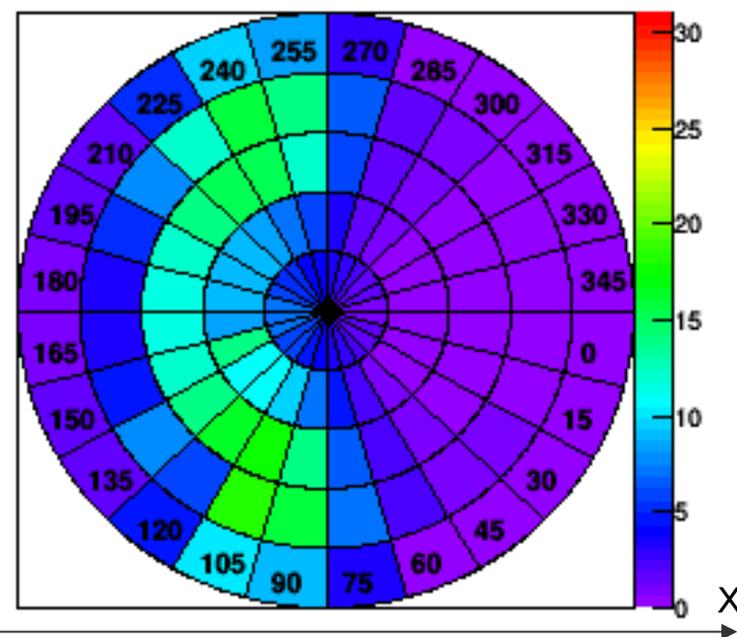
➤ = 0.7 мкТл

➤ = 0.4 мкТл

Gain, $\times 10^7$



PDE



➤ = 44.6 мкТл

➤ = 0.0 мкТл

➤ = 0.4 мкТл

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- ▶ Разработана методика исследования зональных характеристик ФЭУ Hamamatsu R12860 HQE с использованием сканирующего стенда, который позволяет изучать такие характеристики, как эффективность регистрации света и усиление. Данная методика может быть использована для массового тестирования ФЭУ эксперимента JUNO.
- ▶ Было показано, что магнитное поле Земли сильно ухудшает характеристики ФЭУ. Величина внешнего магнитного поля для эффективной работы ФЭУ не должна превышать 5 мкТл. Исходя из этого, необходимо создание соответствующей защиты от внешнего магнитного поля детектора эксперимента JUNO.
- ▶ Полученные данные могут быть использованы при моделировании разрешения детектора JUNO.