



Метод измерения плотности потока нейтронов и скорости его изменения по сигналам с ионизационной камеры

Выполнил:

Давыдкин Е.К.

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., проф. Салахутдинов
Г.Х.

2026 г.

Цель и задачи исследования



- Изучение физических методов контроля плотности потока нейтронов на ЯР.
- Литературный анализ современных нейтронных детекторов, составление сравнительной характеристики.
- Изучение актуальных измерительных трактов нейтронных детекторов и роли в них цифровых устройств.
- Составление спецификации на исследуемое устройство измерения средней скорости счета и периода ее изменения.

Изучение современных возможностей детектирования нейтронов



В настоящее время для детектирования нейтронов используется два основных типа детекторов:

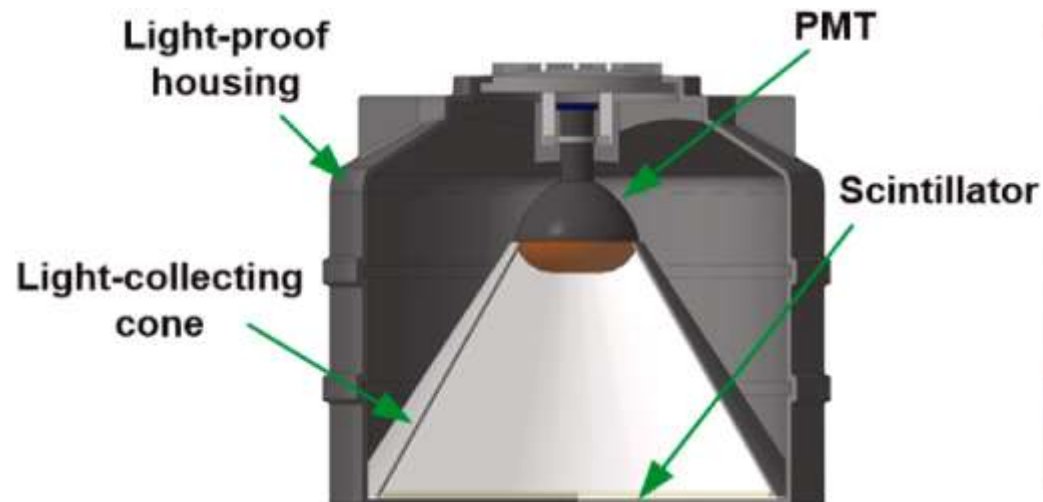
- Газонаполненные
- Сцинтиляционные

Газонаполненные нейтронные датчики:

- Пропорциональные счетчики наполненные ^3He и BF_3 .
- Ионизационные камеры деления(с покрытием из ^{235}U).
- Ионизационные камеры и счетчики с покрытием из ^{10}B .

Изучение современных возможностей детектирования нейтронов

- Пропорциональные счетчики с гелиевым и борным наполнением рассмотрены на примере серии счетчиков СНМ.
- Камеры деления и детекторы с борным покрытием на примере газонаполненных камер серии КНК.
- Сцинтиляционный детектор нейтронов на примере используемых в установке PRISMA-36.



Изучение современных возможностей детектирования нейтронов



Сравнительный анализ:

1. Верхний предел мощности дозы гамма-излучения, при которой детектор может сохранять работоспособность:
 - $10^5 - 10^6$ Р/ч для газонаполненных нейтронных детекторов.
 - 0.01 - 0.1 Р/ч для сцинтиляционных детекторов.
2. Сцинтиляционный нейтронный детектор дороже в изготовлении и обслуживании по сравнению с газонаполненными аналогами.

Вывод:

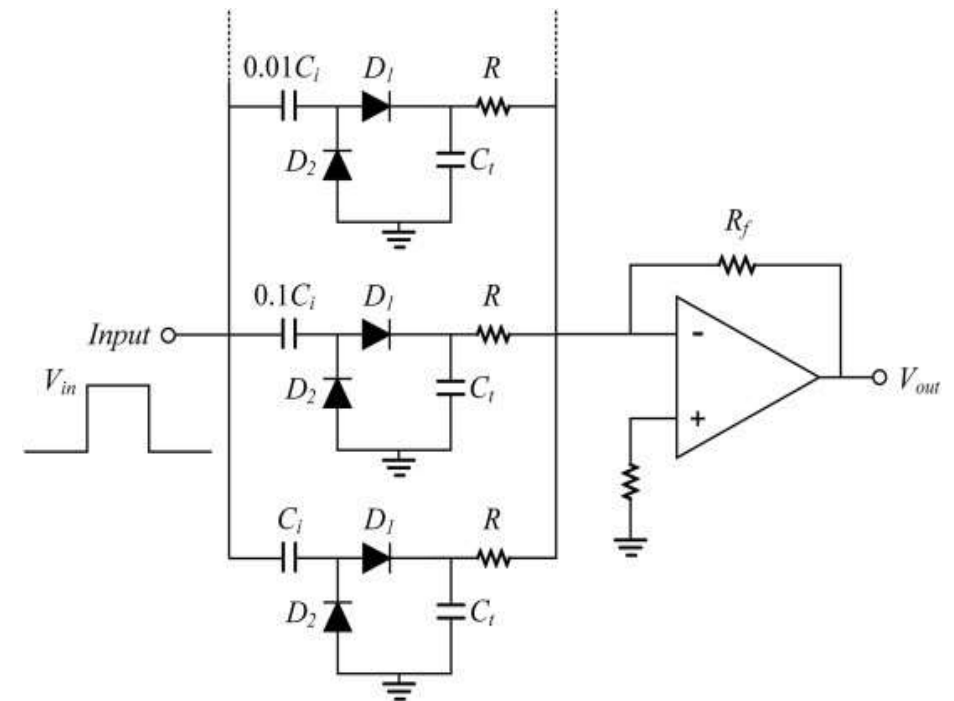
Сцинтиляционные нейтронные детекторы подходят больше для исследовательских задач, в то время как газонаполненные для задач контроля нейтронного потока на ЯР.

Измерительные тракты нейтронных детекторов

В случае работы с ИК в импульсном режиме или пропорциональным счетчиком финальным пунктом в обработке сигнала будет счетчик импульсов или измеритель скорости счета.

Аналоговое устройство логарифмического измерителя скорости счета может быть выполнено по диодно-емкостной схеме представленной на рисунке.

В настоящее время предпочтение отдается цифровым устройствам, т.к. на них проще реализуются наиболее сложные алгоритмы и при этом обеспечивается быстродействие системы.



Цифровое устройство счета



Устройство выполняет измерение средней скорости счета импульсов по данным о количестве импульсов и прошедшем времени.

Минимальная скорость счета \min составляет 0,01 имп./сек, максимальная скорость счета \max составляет 100 000 имп./сек.

При времени измерения 90 сек погрешность должна составлять 10%.

При скорости следования импульсов 0,5 имп./сек время измерения должно составлять 200 сек.

Скорость следования импульсов 7000 имп./сек должна измеряться за время 1 сек.

Период должен определяться с точностью 20%.

Среднее число импульсов, информацию о которых необходимо знать, чтобы измерить среднюю скорость счета с доверительной вероятностью 0.95 и некоторой точностью δ :

$$\langle N \rangle = \left(\frac{2}{\delta} \right)^2$$

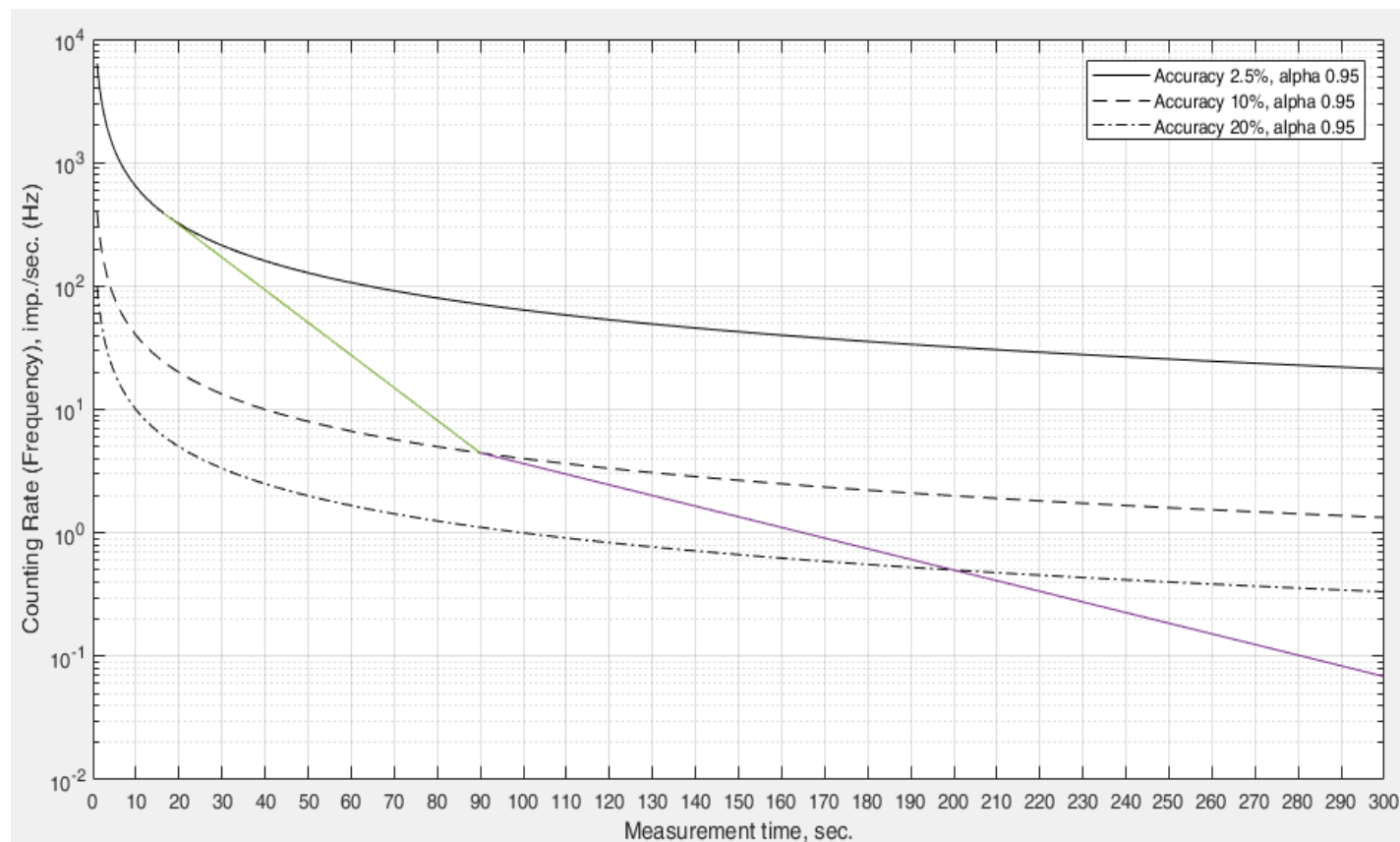
Средняя скорость счета в таком случае будет рассчитываться по формуле:

$$F = \frac{\langle N \rangle}{\sum_{i=1}^{\langle N \rangle} T_i}$$

Цифровое устройство счета

Частота, Гц	Время измерения, сек.	Относительная погрешность при доверительной вероятности 0,95	Количество событий, участвующих в измерении
0,05	200	менее 20%	10
0,5	200	20%	100
5	90	10%	450
50	50	4%	2500
500	13	2,5%	6400
5000	2	2,5%	6400

табл. 1 Времена измерения частот



Цифровое устройство счета



При времени измерения меньше $T_1 = 16.446511999710594\text{с}$ (точка касания на графике):

$$N_{\text{кр}} = 6400$$

При времени измерения меньше $T_2 = 90\text{ сек}$:

$$N_{\text{кр}} = t * 10^{(k_1 t + b_1)}$$

$$b_1 = 3.024400649643684$$

$$k_1 = -0.026406479496132$$

При времени измерения больше $T_2 = 90\text{ сек}$:

$$N_{\text{кр}} = t * 10^{(k_2 t + b_2)}$$

$$b_2 = 1.424147236249871$$

$$k_2 = -0.008625886159569$$

Цифровое устройство счета

Расчет периода изменения скорости счета производится по следующему соотношению:

$$T = \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right)}$$

Относительная погрешность периода, с учетом того что вклад погрешности измерения моментов времени t_1 и t_2 малы и частоты измеряются с одинаковой точностью будет:

$$\delta T = \sqrt{2 \left(\frac{\delta F}{\ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right)} \right)^2}$$

«Окно»	Переход снизу	Переход сверху
«Т=998»	-	F < 0.5 Гц
Окно 1 – 200 сек	F > 0.5 Гц	F < 1 Гц
Окно 2 – 150 сек	F > 1.4 Гц	F < 2.5 Гц
Окно 3 – 100 сек	F > 5 Гц	F < 7 Гц
Окно 4 – 75 сек	F > 10 Гц	F < 40 Гц
Окно 5 – 50 сек	F > 50 Гц	F < 450 Гц
Окно 6 – 25 сек	F > 500 Гц	F < 4500 Гц
Окно 7 – 10 сек	F > 5000 Гц	-

табл. 2 Частоты для выбора временного окна измерения периода

Заключение и следующий этап работы

Цикл разработки цифрового устройства делится на несколько этапов:

- 1) Составление спецификации и технического задания
- 2) RTL-дизайн
- 3) Функциональная симуляция(верификация)
- 4) Синтез
- 5) Размещение и трассировка (Place & Route)
- 6) Загрузка в ПЛИС и аппаратная отладка

В качестве практического задания будет проведена функциональная симуляция цифрового устройства расчета средней скорости счета и периода ее изменения.



Спасибо за внимание!