



Расчёт теоретического антинейтринного
спектра для детектора iDREAM от
энергоблока №3 Калининской АЭС

.....

Жутиков Иван

Цели работы:

- Обработка массива данных по активной зоне блока №3 КАЭС для текущей кампании реактора
- Анализ данных полученных из картограмм активной зоны, изучение эволюции долей деления в ходе кампании
- Расчёт спектра $\bar{\nu}_e$ от реактора и анализ его изменения в ходе кампании.

Исходные данные

В качестве исходных данных использовался расчёт активной зоны реактора №3 Калининской АЭС, проделанный отделением физики ВВЭР НИЦ «Курчатовский институт» по данным о загрузке реактора и реальному графику мощности реактора.



Анализ картограмм

Для получения необходимых для расчёта данных был проведён анализ картограмм активной зоны реактора.

158	159	160	161	162	163
СВМ	СВМ	СВМ	СВМ	СВМ	СВМ
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

149	150	151	152	153	154	155	157
СВМ							
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

139	140	141	142	143	144	145	147
СВМ							
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148
СВМ										
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ											
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ													
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ														
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ															
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ																
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
СВМ																	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

148
С49G6

Номер ТВС
Тип топлива
Обогащение топлива в %
Год эксплуатации

156	157	158	159	160	161	163
СВМ						
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

148
41.18
0.51
10.13
1.08

Номер ТВС
Средняя глубина выгорания
Средняя относительная мощность
Падение температуры
Концентрация самария

88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	100	105	102
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
СВМ											
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	75
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ											
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ													
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
СВМ													
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	100	105	102
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
СВМ											
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	75
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ											
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

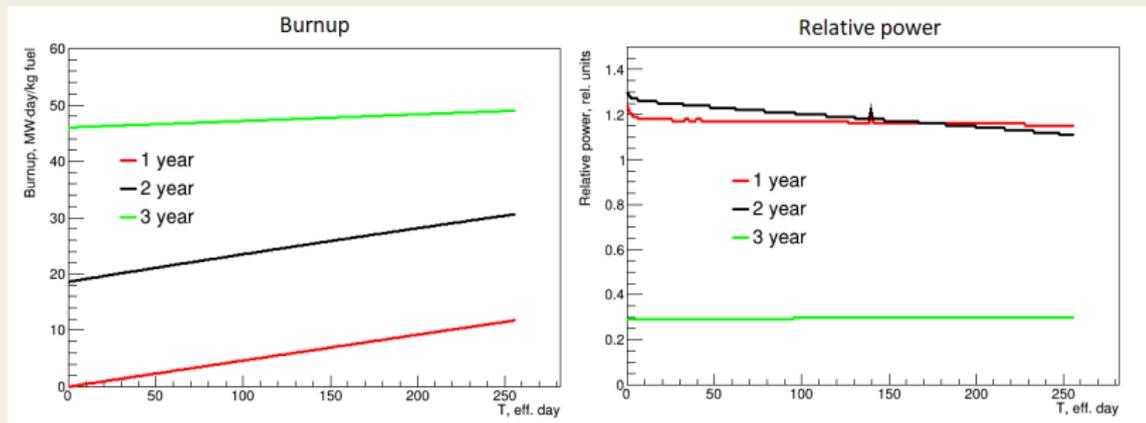
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
СВМ													
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
СВМ												
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
СВМ													
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

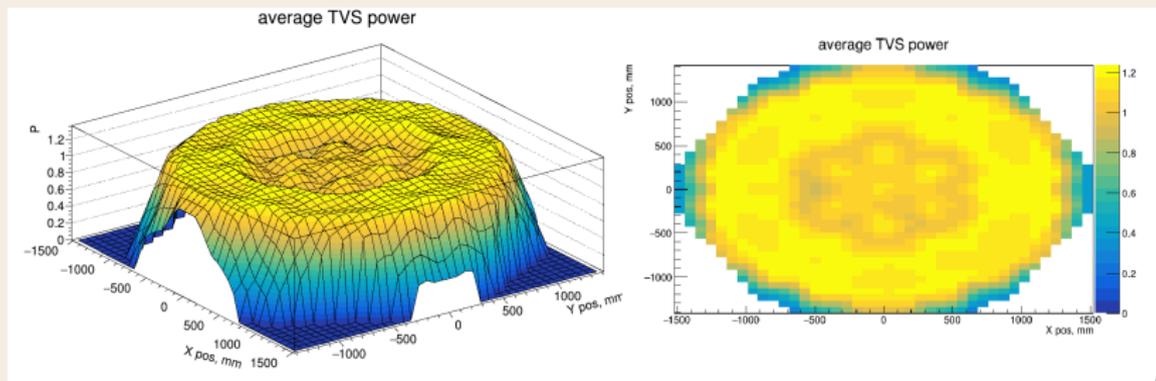
Зависимости глубины выгорания и относительной мощности от времени

По итогу из картограмм получены следующие зависимости средней по высоте глубины выгорания и относительной мощности от эффективного времени



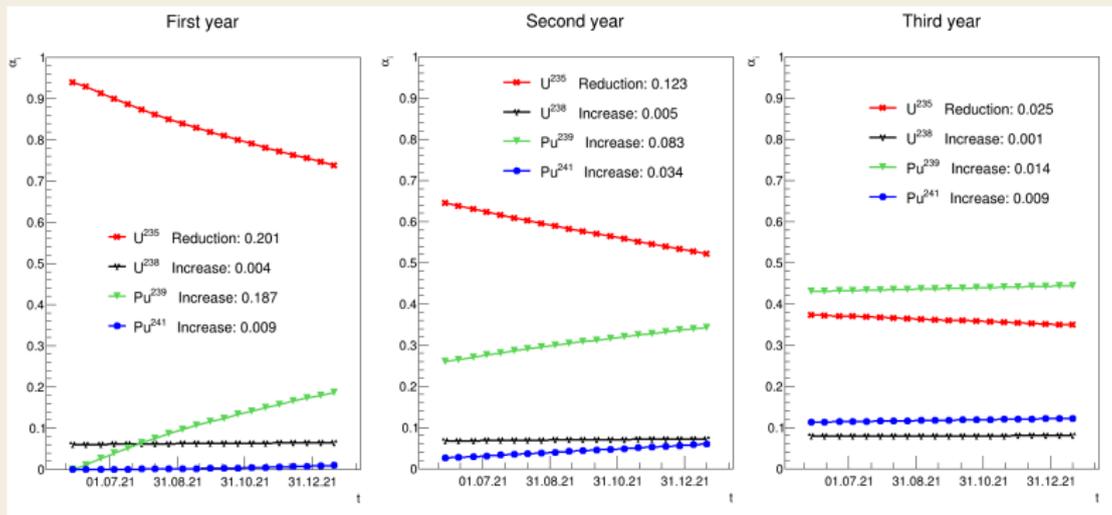
Среднее значение относительной мощности

Относительные мощности в основном определяются положением ТВС в реакторе и слабо меняются со временем, на данных графиках показаны их средние за кампанию значения в зависимости от положения в активной зоне.



Эволюция долей деления в течение кампании

Объединив зависимости глубины выгорания и теоретические зависимости долей деления от глубины выгорания, были получены зависимости долей деления от астрономического времени.



Расчёт теоретического спектра антинейтрино

Расчёт спектра антинейтрино производился по следующей формуле:

$$N_{det}(E) = \frac{\epsilon}{4\pi L^2} \cdot N_p \cdot \int_{T_{start}}^{T_{end}} \frac{P_{th}(t)}{E_f(t)} \cdot \langle \sigma(t) \rangle dt.$$

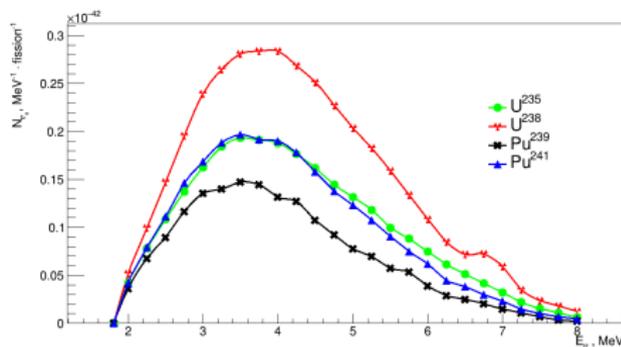
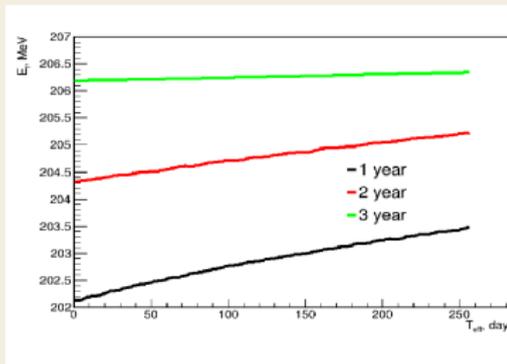
- ϵ - эффективность регистрации $\bar{\nu}_e$ детектором iDREAM
- L - расстояние от детектора до реактора
- N_p - число протонов в мишени
- P_{th} - мощность реактора
- E_f - средняя тепловая энергия деления
- $\langle \sigma \rangle$ - среднее сечение обратного бета-распада
- T_{start} и T_{end} соответствуют началу и концу периода наблюдения

Средняя энергия деления и среднее сечение обратного бета-распада

Средние тепловая энергия и сечение обратного бета-распада выражаются соответственно следующими формулами:

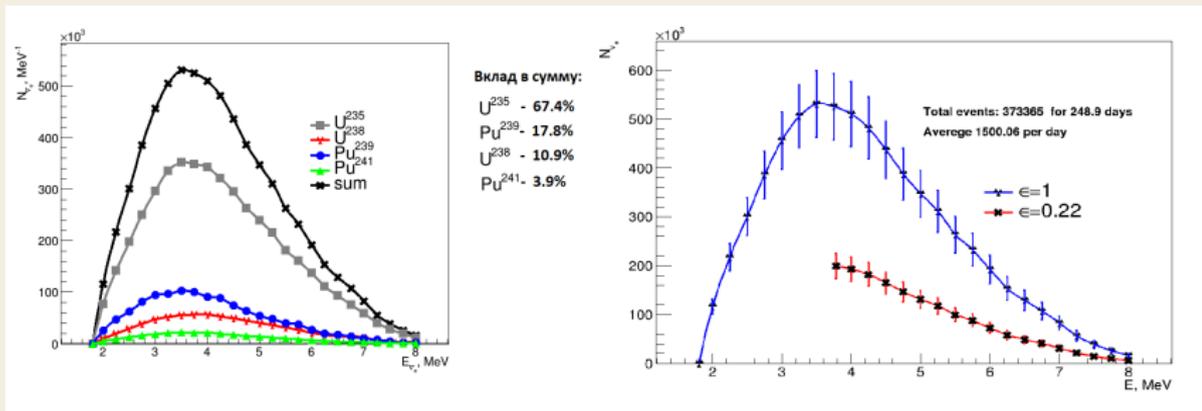
$$E_f = \sum_i \alpha_i E_i$$

$$\langle \sigma \rangle = \sum_i \alpha_i \sigma_{IBD}(E_{\bar{\nu}_e}) S_i(E_{\bar{\nu}_e})$$



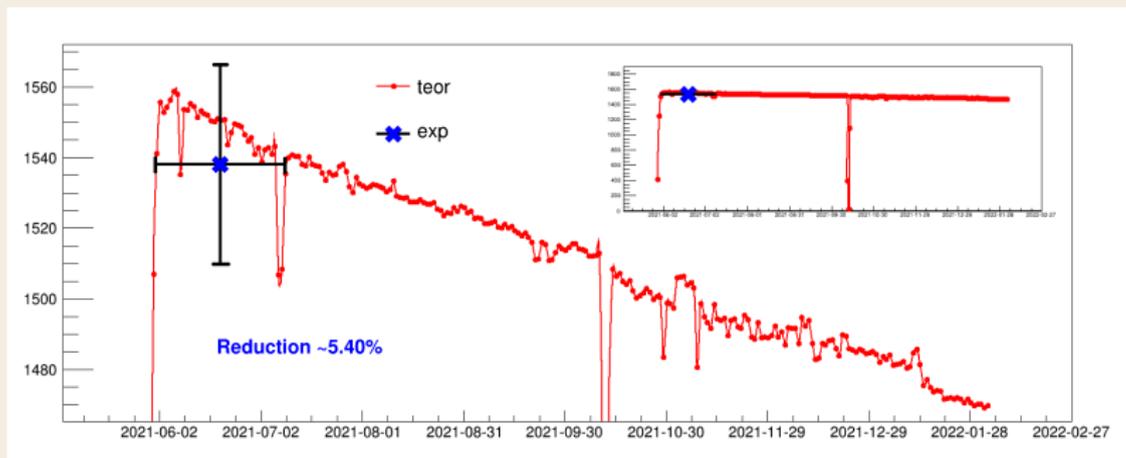
Расчёт спектра $\bar{\nu}_e$

В результате расчётов получаются следующие спектры.



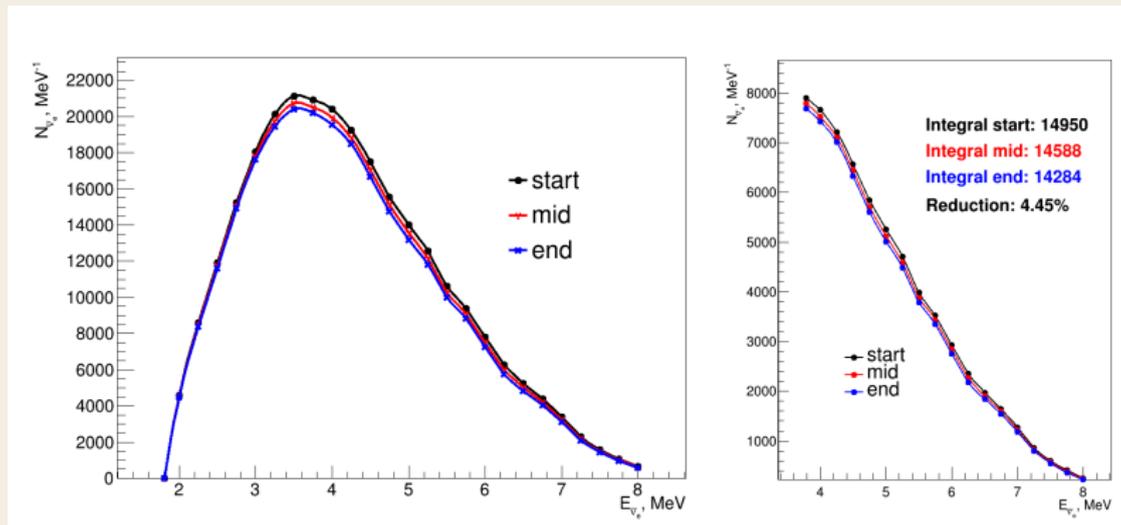
Изменение скорости счета детектора со временем

Анализ данных iDREAM за период с 1.06.21 по 9.07.21 показывает, что детектор регистрирует в среднем $N_{\nu}^{obs} = 1538 \pm 28$ событий в день с порога в 3 МэВ, что достаточно хорошо совпадает с расчётным значением $N_{\nu} = 1546$ за тот же период.



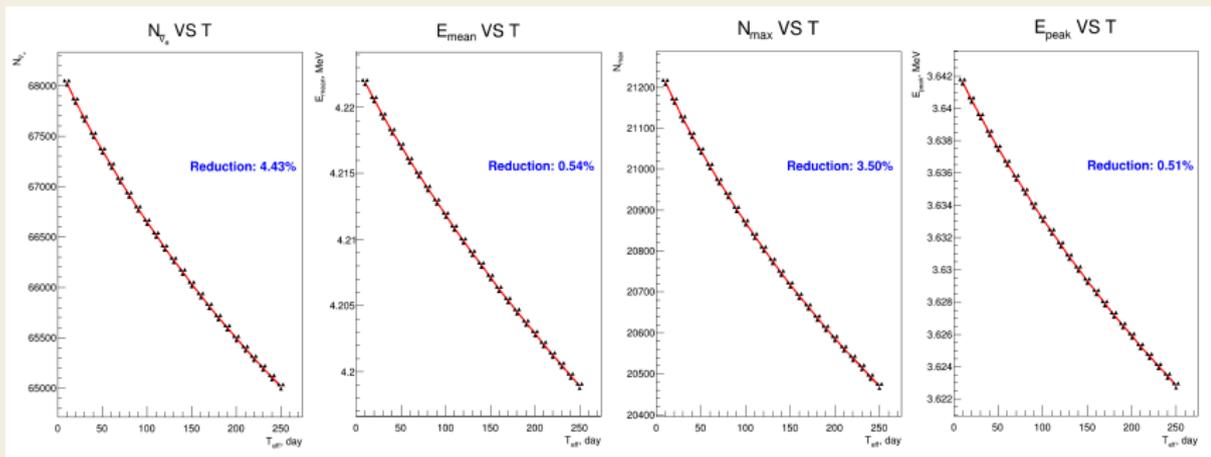
Изменение спектра антинейтрино со времени

В результате расчётов так же получается следующее изменение спектра в детекторе



Изменение спектра с течением времени

Более детальные графики изменения основных характеристик спектра.



Заключение

В ходе работы были получены следующие результаты:

- Проведена обработка и анализ картограмм выгорания блока №3 КАЭС для текущей кампании, получены зависимости глубин выгорания и относительных мощностей от времени для каждой ТВС.
- Получены зависимости долей деления основных изотопов от времени для каждой ТВС.
- Получен спектр антинейтрино от реактора, показан вклад различных изотопов в него, исследованы зависимости скорости счёта детектора и спектра антинейтрино от времени.