

Научно-исследовательская работа по физике элементарных частиц «Исследование источников фона космогенного происхождения в детекторе Darkside-20k»

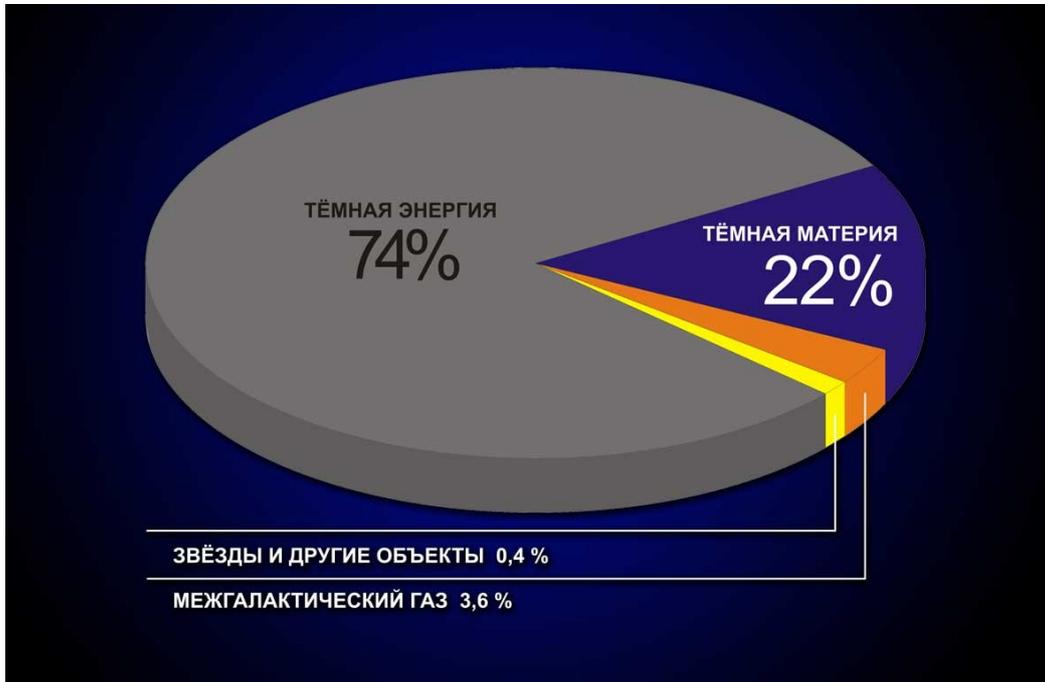
Руководитель НИР, с.н.с. ОФН,
НИЦ «Курчатовский институт»

И. Н. Мачулин

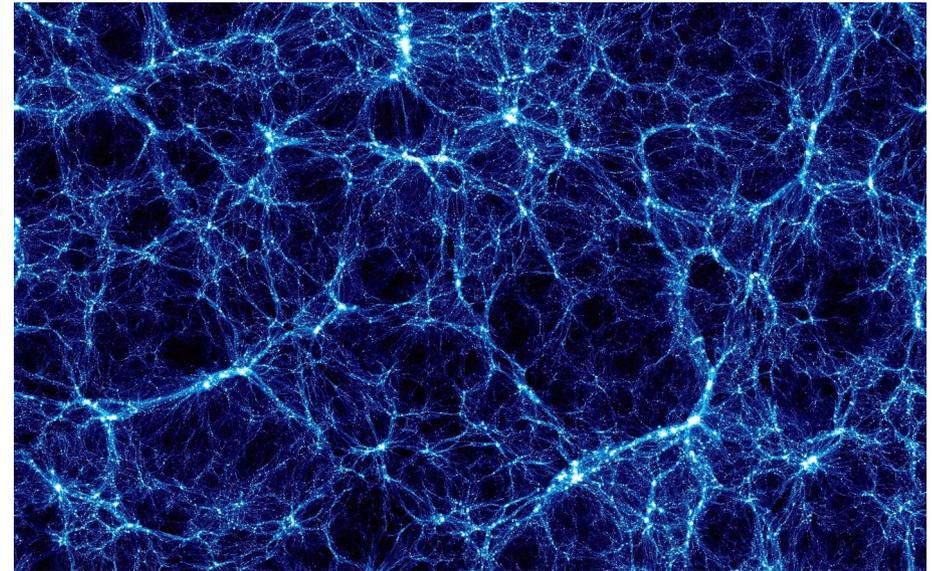
Студент гр. М20-115

Д. С. Голубков

Введение

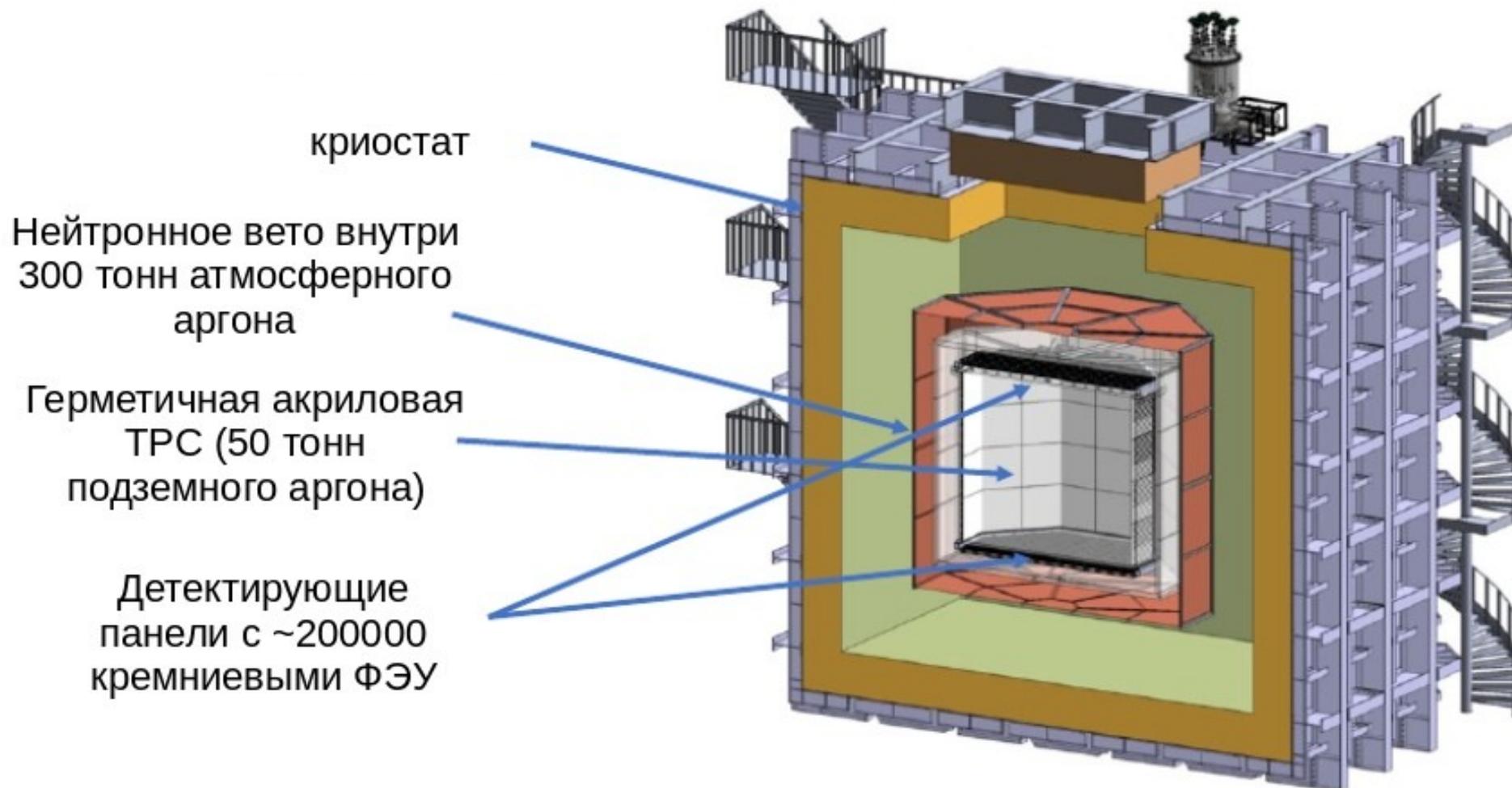


Существует много кандидатов гипотетических частиц тёмной материи. Одним из кандидатов является Weakly Interacting Massive Particles (WIMP).

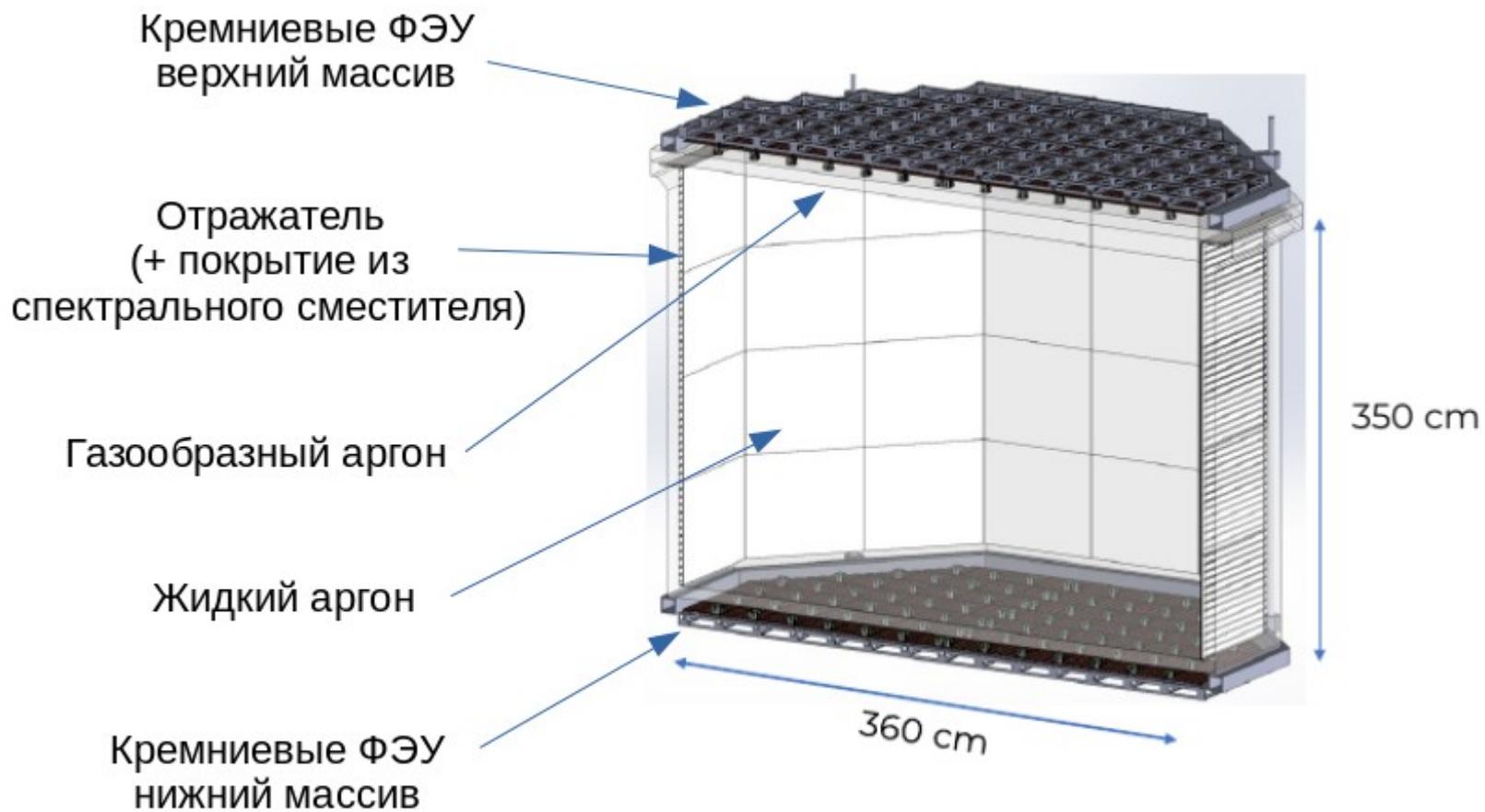


Наиболее убедительными экспериментальными фактами существования темной материи, полученными из астрономических наблюдений, являются результаты измерения скоростей слоёв галактик

Эксперимент Darkside-20k

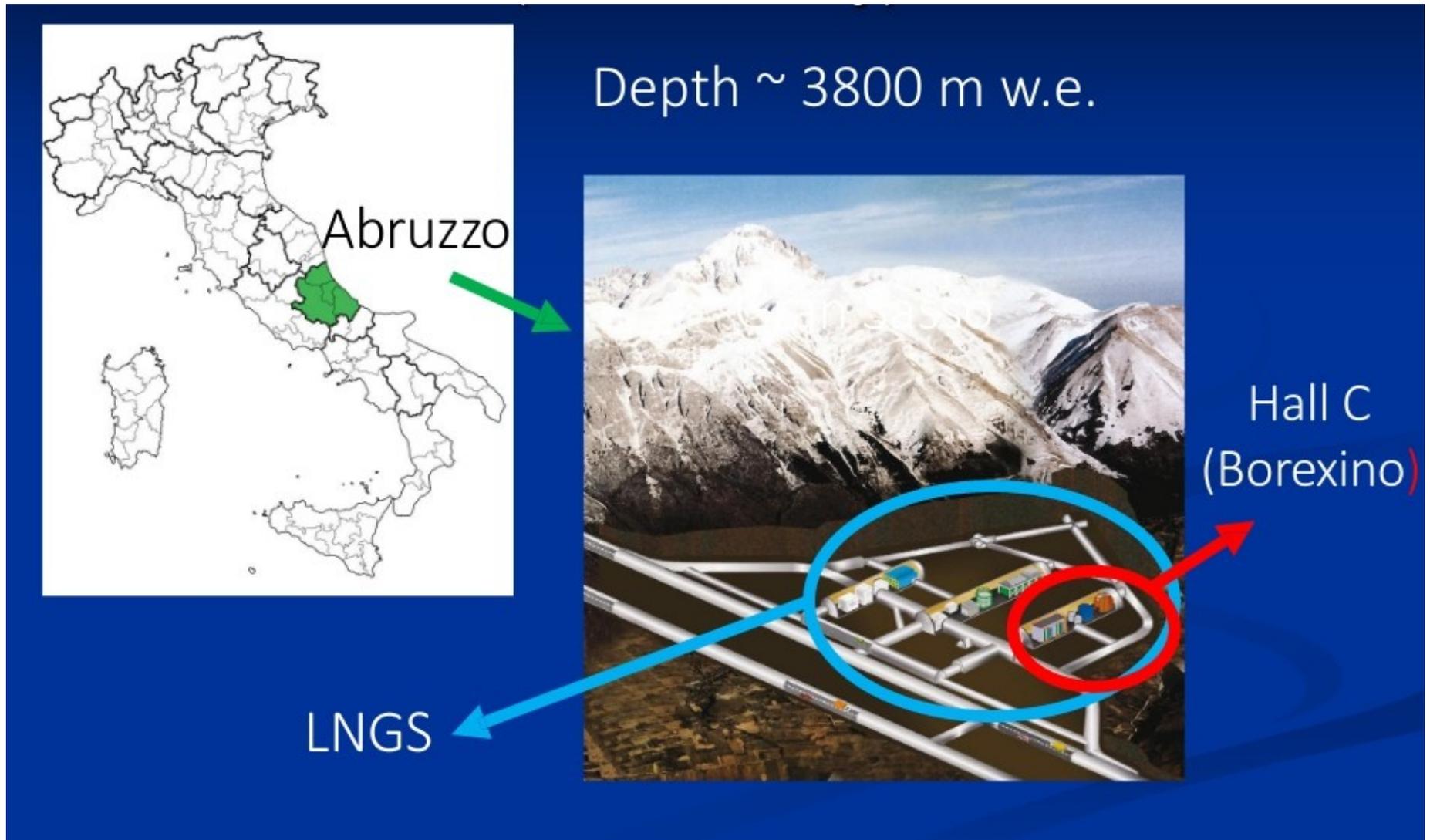


Временная проекционная камера (ТРС)



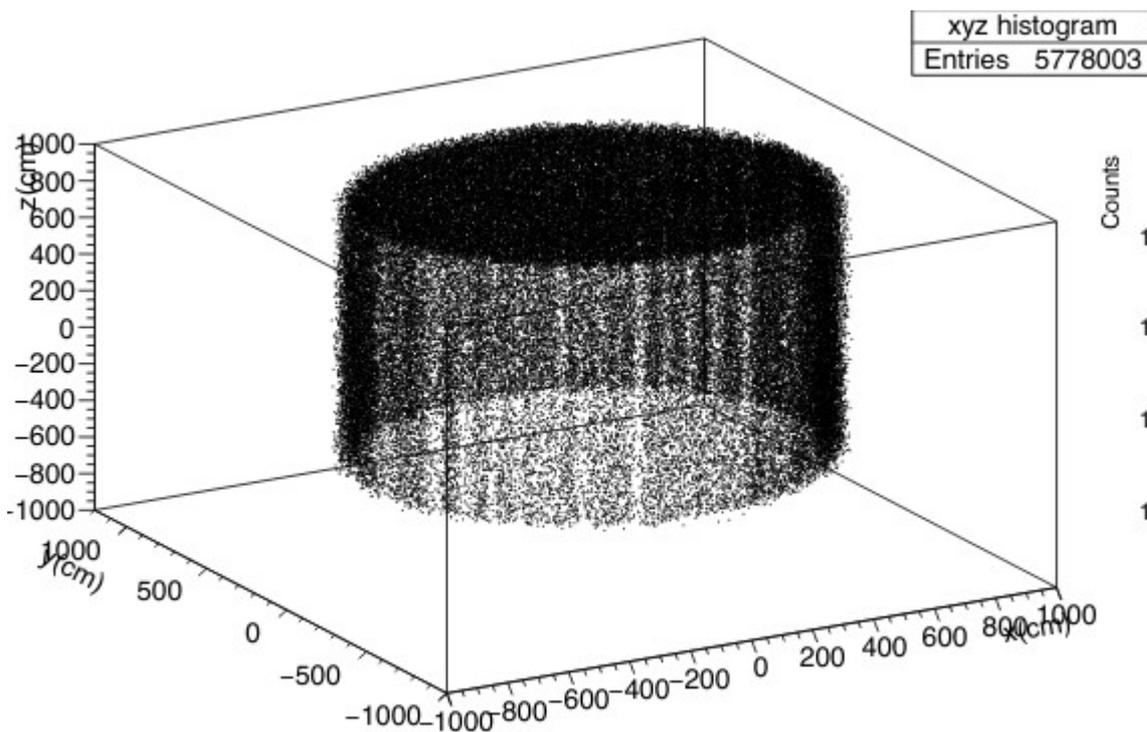
Расположение

- В Италии в регионе Абруцци находится Национальная лаборатория Гран-Сассо на глубине ~3800 метров водного эквивалента, где в холле С находится эксперимент Borexino, рядом с которым планируется поместить Darkside-20k

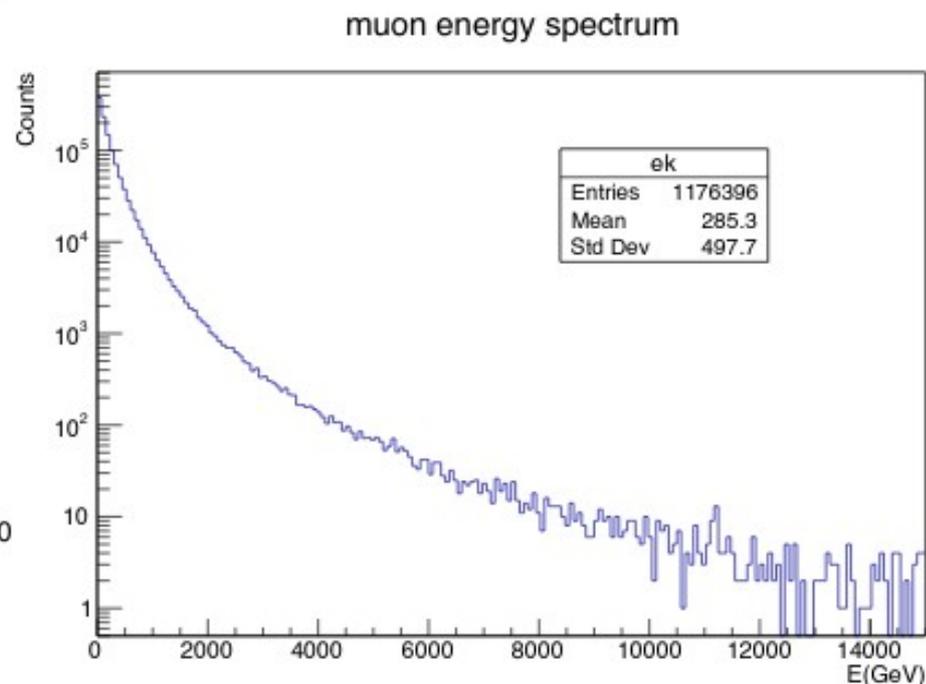


Космический фон

- Мюоны космогенного происхождения вырабатывают радиоактивные изотопы в мишени детектора



Расположения мюонов на поверхности криостата (радиуса 7 и высотой 14 метров)



Спектр энергий мюонов

Поток мюонов f , пролетающих гору Гран-Сассо равен: $f = 3.4 \cdot 10^{-4} \text{ [с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}]$

- Нейтроны, образующиеся в результате взаимодействия космических мюонов, играют большую роль в создании фона при поиске редких событий. Таким образом необходимо использовать имитационные исследования для проектирования защиты экранов и прогнозирования уровней фона в установке.

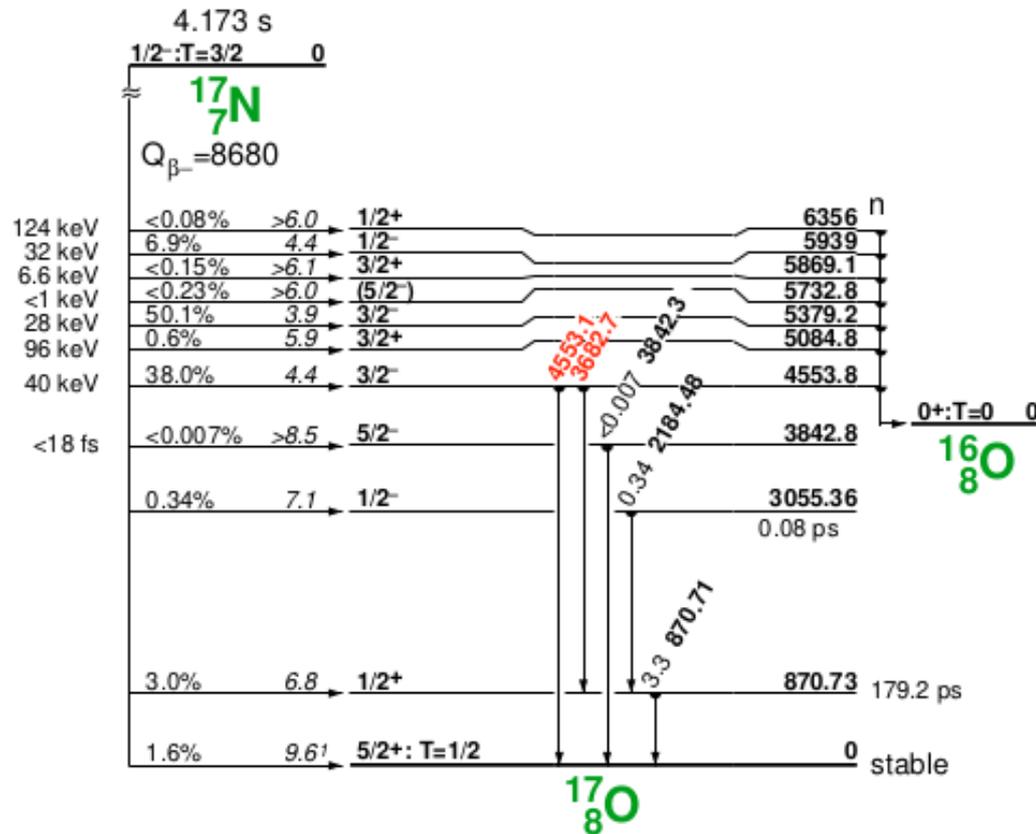
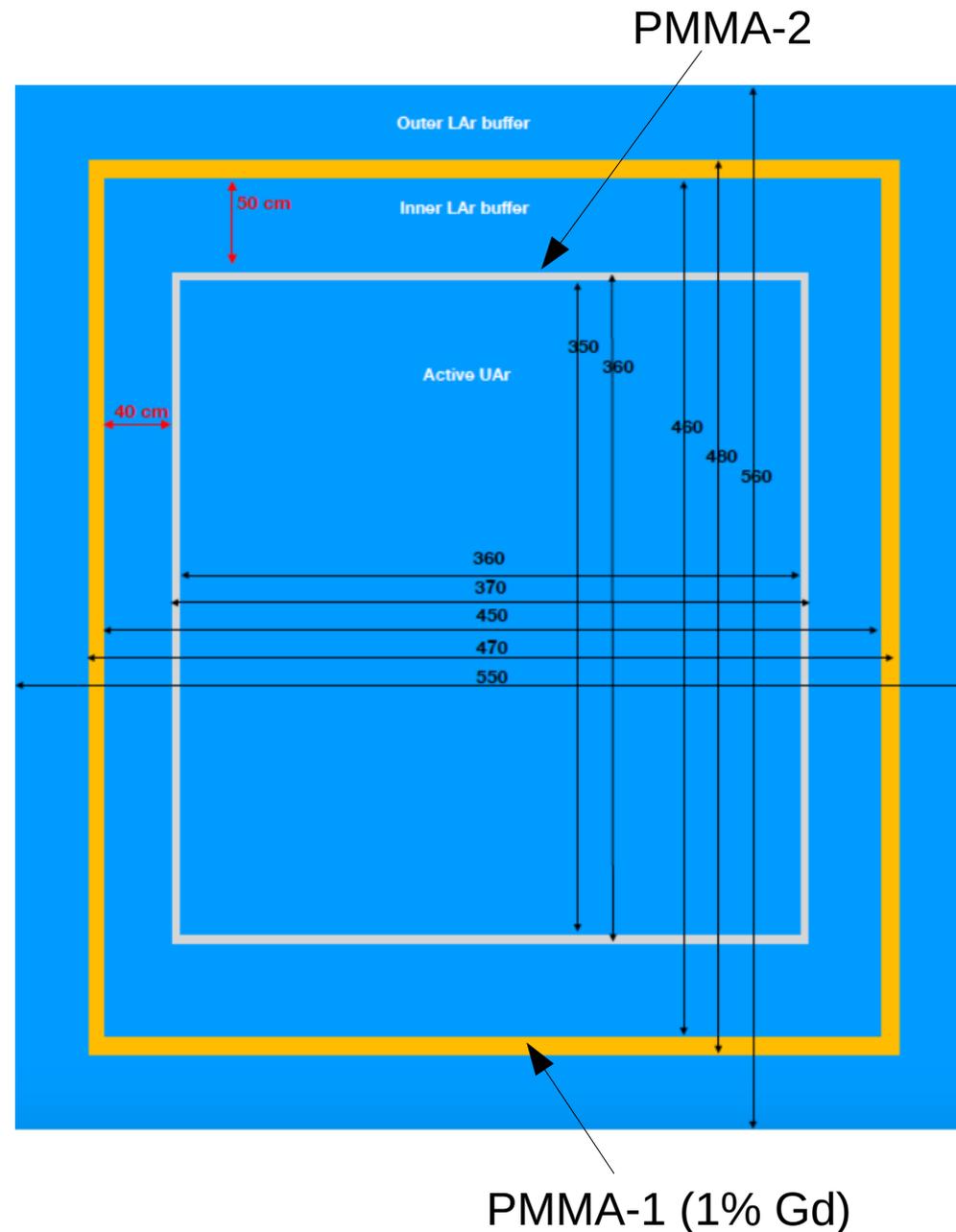
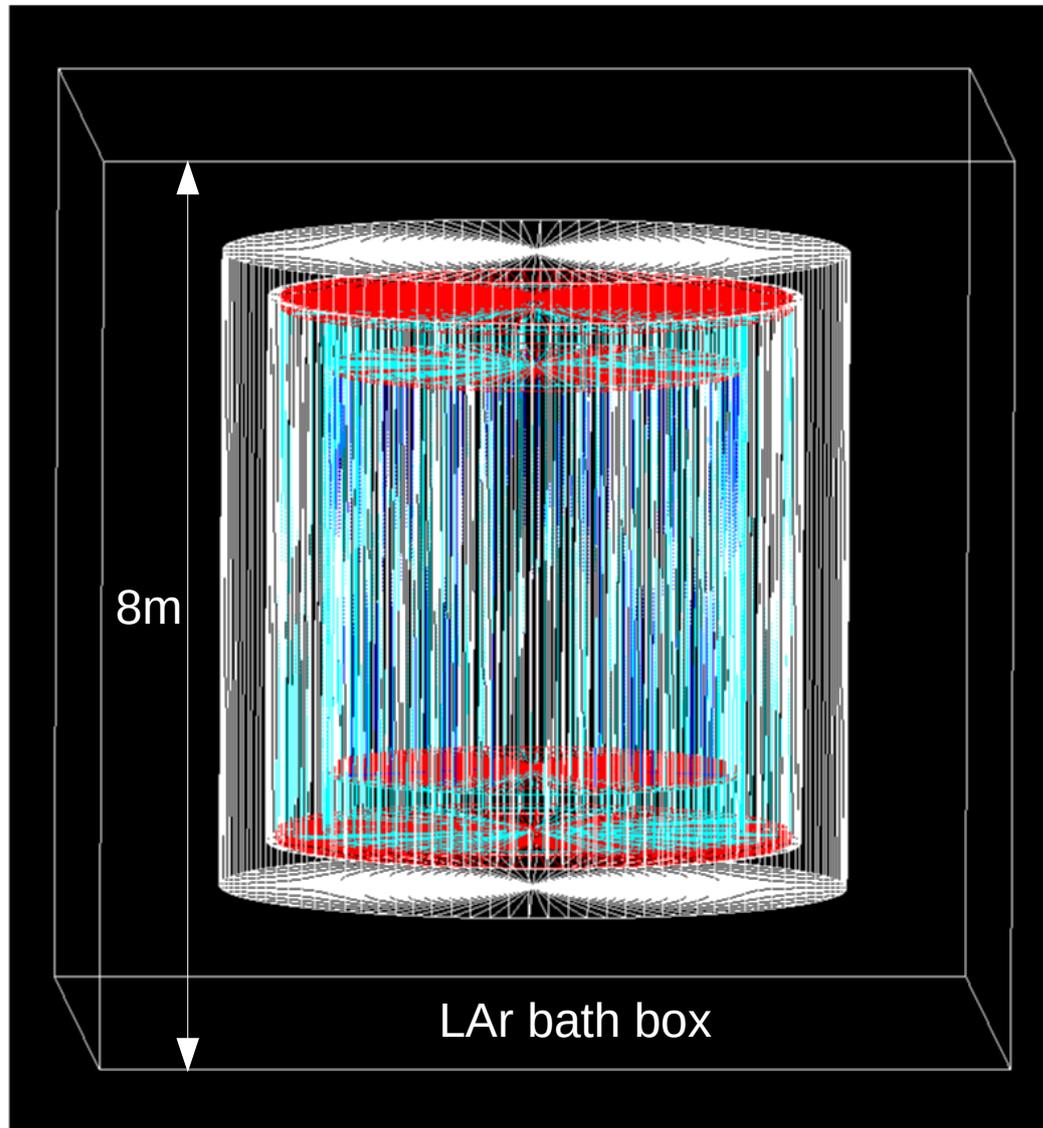


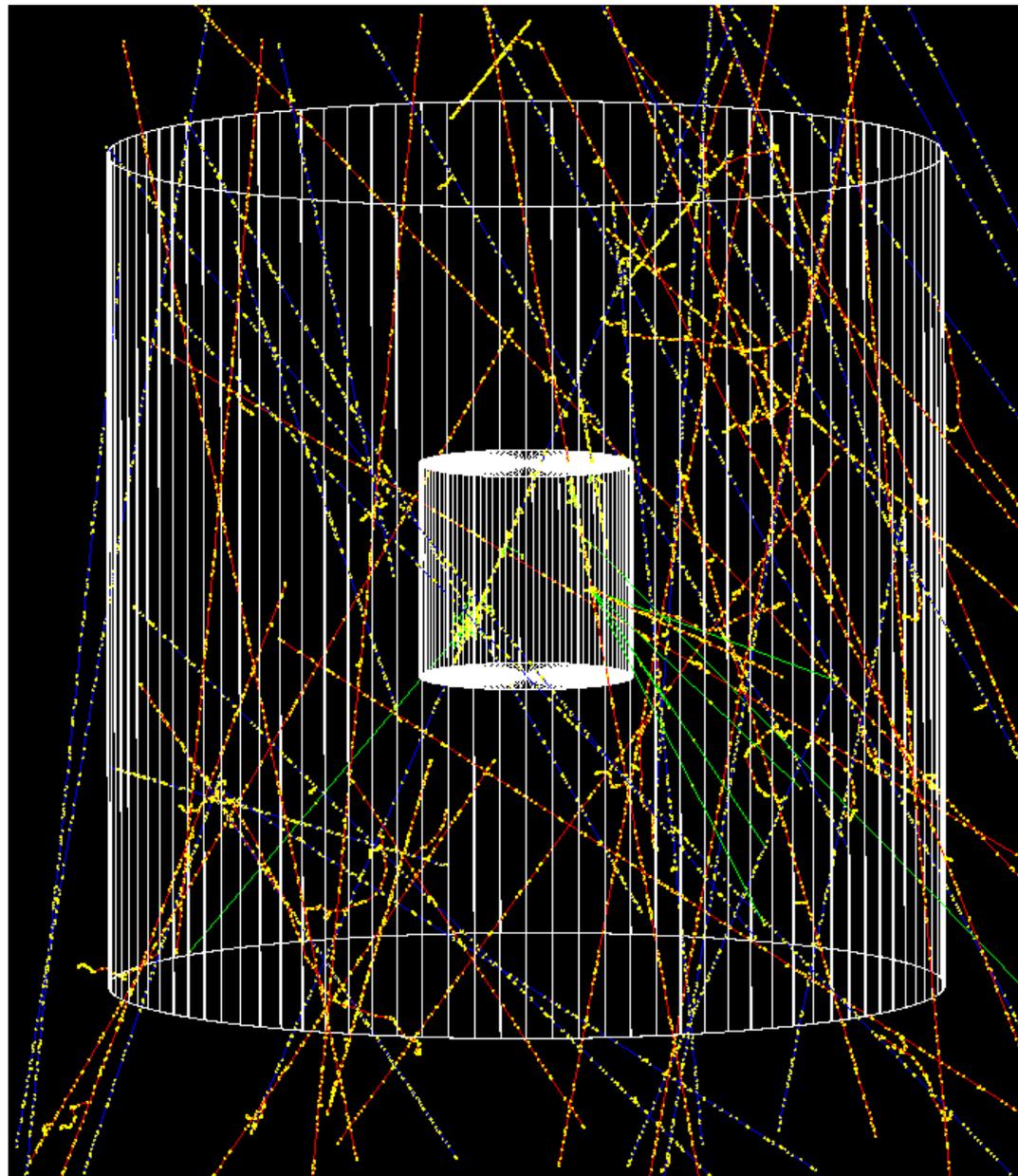
схема beta-n активного изотопа - ^{17}N

- Наиболее важными результатами являются выходы beta-n изотопов, так как нейтроны испускаемые при распаде рассеиваются на ядрах мишени и имитируют частицы WIMP.

Моделирование детектора Darkside-20k в пакете Geant4



Моделирование космических мюонов в детекторе



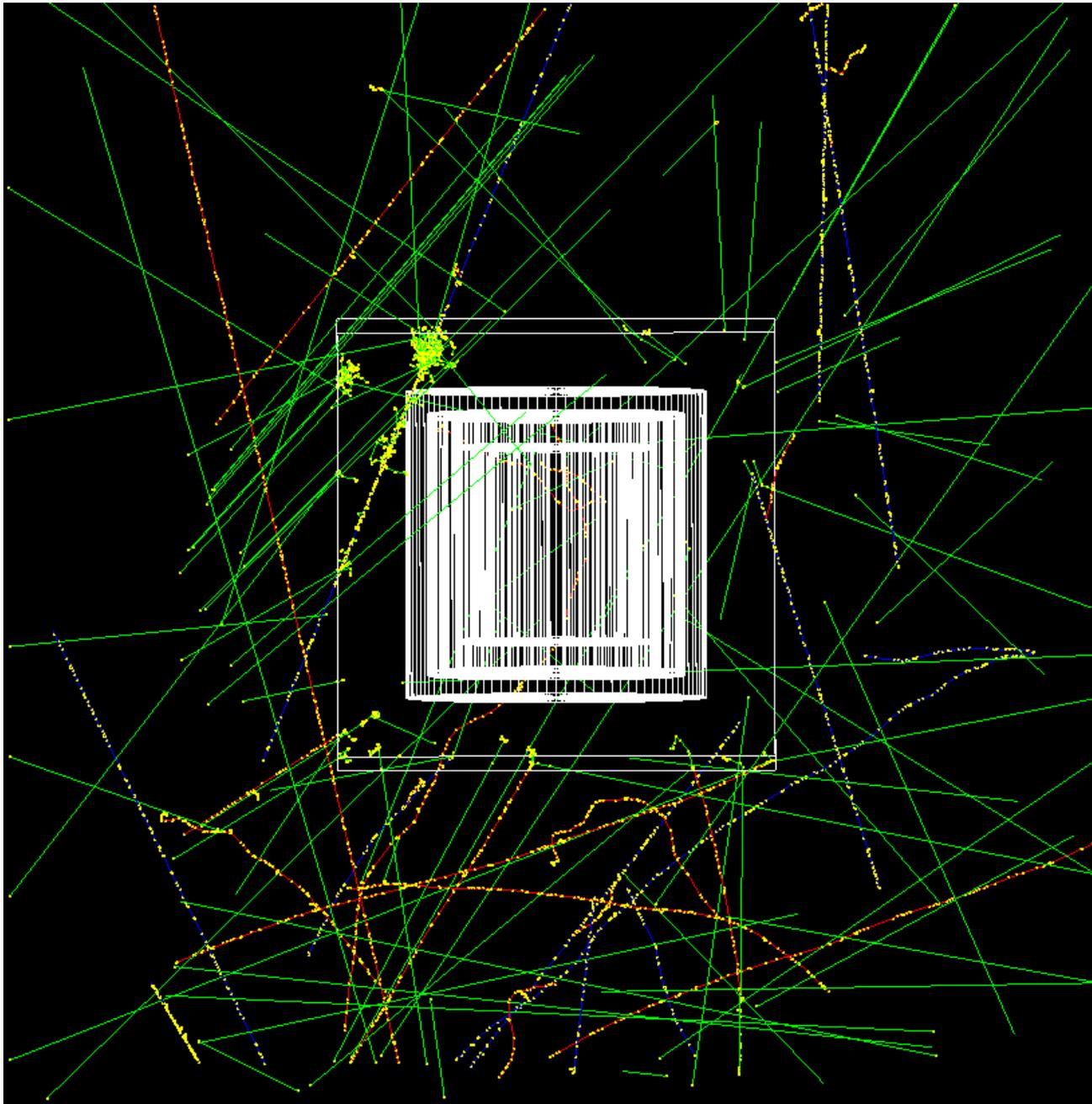
Визуализация моделирования космических мюонов в Гран-Сассо на мишени Darkside-20k

Количество мюонов в объеме	1836320	1233800	775450	1344990	819510	4846170
Beta изотопы	Outer LAr buffer	Inner LAr buffer	Active LAr	PMMA-1 (1% Gd)	PMMA-2	LAr bath box
41Ar	30058	114390	141259	0	0	53651
40Cl	1668	1191	1378	0	0	10406
39Cl	10787	7522	8473	0	0	61612
39Ar	79558	56349	61904	0	0	471213
38Cl	10917	7824	8650	0	0	62634
37S	2061	1389	1509	0	0	11979
37Cl	17131	14573	16239	0	0	97593
35S	6884	4929	5413	0	0	39985
34P	1350	992	1023	0	0	7845
33P	2392	1683	1820	0	0	13824
32P	3183	2396	2443	0	0	18390
31Si	962	744	725	0	0	5867
28Al	588	445	405	0	0	3518
10Be	40	40	25	348	100	232
3H	5383	3896	4165	1494	556	31877

Всего мюонов разыграно — 11.785.530

Количество мюонов в объёме	1836320	1233800	775450	1344990	819510	4846170
Beta-n изотопы	Outer LAr buffer	Inner LAr buffer	Active LAr	PMMA-1 (1% Gd)	PMMA-2	LAr bath box
8He	4	0	3	4	2	13
9Li	10	3	6	18	11	38
11Li	1	0	0	0	0	2
11Be	5	2	2	1	0	23
13B	7	1	2	9	2	20
17N	8	1	4	3	0	41
22F	9	3	7	0	0	45
24F	0	0	0	0	0	0
27Na	5	4	7	0	0	21
31Al	28	9	19	0	0	143
32Al	5	5	1	0	0	34

Моделирование всех частиц в объёме детектора за 10 лет



isotope	Outer LAr	Inner LAr	Active LAr	PMMA-1 (1% Gd)	PMMA-2	LAr box	sum	(β^- , n)	(β^- , 2n)	(β^- , 3n)	number of neutrons	Half-life T1/2	Rejection (5 sec)	Rejection (10 sec)
P39						1	1	26,80%			0,268	282 ms	0,0	0,0
P38	24	16	12			153	205	12,50%			25,625	640 ms	0,0	0,0
Si37	2	2				9	13	17,00%			2,21	90 ms	0,0	0,0
Si36	6	4	7			63	80	12,50%			10	450 ms	0,0	0,0
Al35		1				9	10	38,00%			3,8	37,2 ms	0,0	0,0
Al34	2	1				12	15	26,00%			3,9	56,3 ms	0,0	0,0
Al33	4	3	2			39	48	8,50%			4,08	41,7 ms	0,0	0,0
Al32	21	11	15			119	166	0,70%			1,162	33 ms	0,0	0,0
Al31	86	59	57			499	701	1,60%			11,216	644 ms	0,0	0,0
Mg35						1	1	52,00%			0,52	70 ms	0,0	0,0
Mg34						2	2	30,00%			0,6	20 ms	0,0	0,0
Mg33	1	1	1			4	7	14,00%			0,98	95 ms	0,0	0,0
Mg32		1	1			6	8	5,50%			0,44	86 ms	0,0	0,0
Mg31	4	2	2			12	20	6,20%			1,24	326 ms	0,0	0,0
Mg30	12	4	4			47	67	0,06%			0,0402	313 ms	0,0	0,0
Na32			1				1	24,00%	8,00%		0,24	12,9 ms	0,0	0,0
Na31	1					1	2	37,30%	0,87%	0,05%	0,746	17,35 ms	0,0	0,0
Na30			1				1	30,00%	1,15%		0,3	48,4 ms	0,0	0,0
Na29		1	1				2	25,90%			0,518	44,1 ms	0,0	0,0
Na28	2	2				25	29	0,58%			0,1682	30,5 ms	0,0	0,0
Na27	15	5	9			79	108	0,13%			0,1404	301 ms	0,0	0,0
Ne27	1					3	4	2,00%			0,08	31,5 ms	0,0	0,0

isotope	Outer LAr	Inner LAr	Active LAr	PMMA-1 (1% Gd)	PMMA-2	LAr box	sum	(β^- , n)	(β^- , 2n)	(β^- , 3n)	number of neutrons	Half-life T1/2	Rejection (5 sec)	Rejection (10 sec)
Ne26						2	2	0,13%			0,0026	197 ms	0,0	0,0
F24	1	1	1			8	11	5,90%			0,649	384 ms	0,0	0,0
F23	3	4	3			40	50	14,00%			7	2,23 s	0,3	0,0
F22	17	14	20			180	231	11,00%			25,41	4,23 s	4,9	0,4
O22		1	1			10	12	22,00%			2,64	2,25 s	0,1	0,0
N22						1	1	34,00%	12,00%		0,34	23 ms	0,0	0,0
N20						1	1	42,90%			0,429	136 ms	0,0	0,0
N18	4	3		1	1	34	43	7,00%			3,01	619,2 ms	0,0	0,0
N17	10	15	15	2	3	102	147	95,00%			139,65	4,173 s	26,5	2,7
C18						1	1	31,50%			0,315	92 ms	0,0	0,0
C17		1				5	6	28,40%			1,704	193 ms	0,0	0,0
C16	1	1				11	13	97,90%			12,727	747 ms	0,0	0,0
B15					1	5	6	93,60%	0,40%		5,664	9,93 ms	0,0	0,0
B14	4	2	1	15	3	26	51	6,04%			3,0804	12,5 ms	0,0	0,0
B13	7	5	7	10	4	59	92	0,28%			0,2576	17,33 ms	0,0	0,0
Be14			1			2	3	98,00%	0,80%		2,94	4,35 ms	0,0	0,0
Be12	2	1	1	8		23	35	0,50%			0,175	21,50 ms	0,0	0,0
Li11						5	5	86,30%	4,10%	1,90%	5,01	8,75 ms	0,0	0,0
Li9	21	16	26	39	15	158	275	50,80%			139,7	178,3 ms	0,0	0,0
He8	2	2	1	5	4	45	59	16,10%			9,499	119,1 ms	0,0	0,0
Total	253	179	190	80	31	1802	2535				428,4764		31,9	3,2
number of neutrons	31,6615	32,0463	36,2771	23,561	12,3204	292,6101	428,4764							

Выходы нейтронов в каждой области детектора за 10 лет

	Outer LAr	Inner LAr	Active LAr	PMMA-1 (1% Gd)	PMMA-2	LAr box	сумма
Количество нейтронов	31,7	32,0	36,3	23,6	12,3	292,6	428,5

Выход нейтронов во всём объёме и в активной мишени детектора за 10 лет при вето-запрете активной защиты в 5 и 10 секунд

	Всего	Вето (5 сек)	Вето (10 сек)	Вето (10 сек) в Active LAr
Количество нейтронов	428,5	74,4	31,9	3,2

Заключение

В ходе работы был смоделирован радиоактивный фон от космических мюонов для эксперимента Darkside-20k. Полученные результаты будут использоваться для анализа фонов детектора. В будущем планируется провести моделирование полного объёма детектора и оптимизацию программы.

Проведенные расчеты будут использованы для выработки критериев подавления фона в установке, в частности длительности сигналов вето активной защиты детектора.

Спасибо за внимание