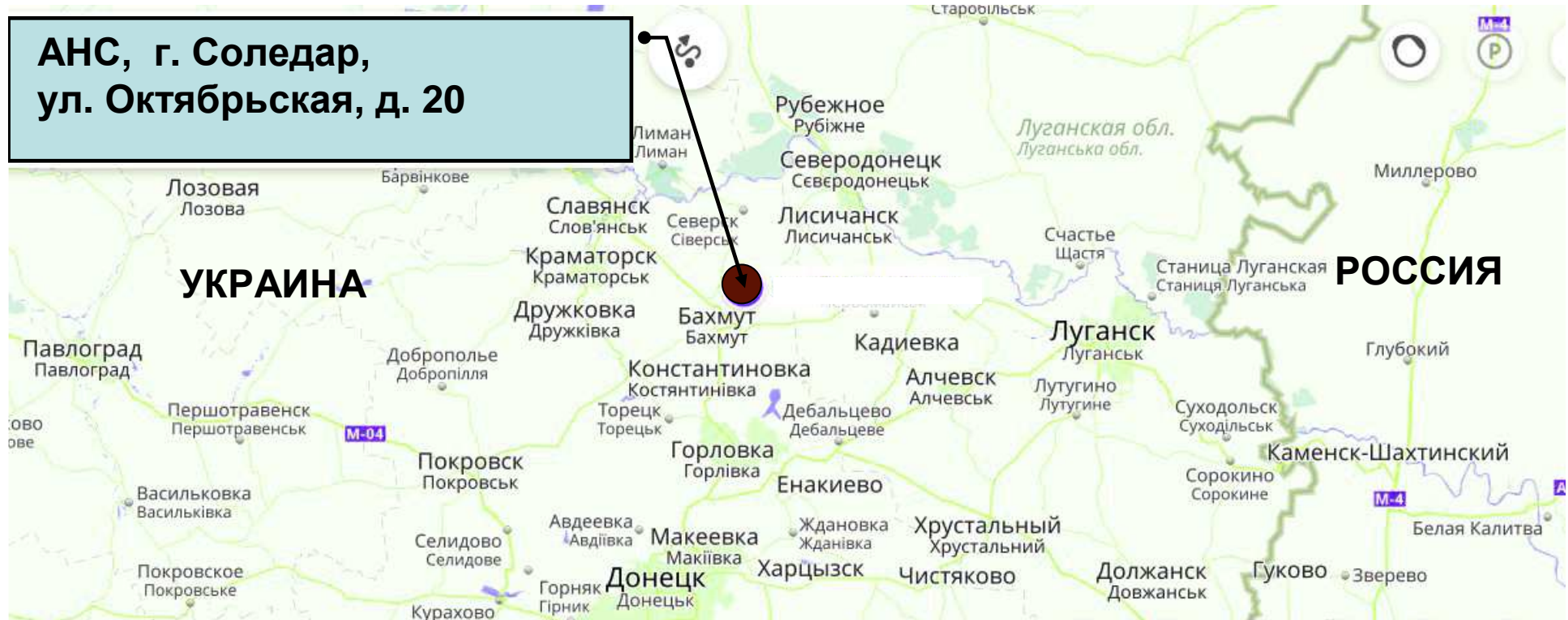


**О текущем статусе и
перспективах развития
Артёмовской научной
станции**

О.Г. Рязская

Месторасположение АНС



Наземная часть научной станции



Наземная часть научной станции



Наземная часть научной станции Рабочие комнаты



- Артемовский сцинтилляционный детектор (АСД) расположен в соляной шахте на глубине 570 м.в.э.
- Основной задачей эксперимента является поиск нейтринного излучения от коллапсирующих звезд в нашей Галактике.
- Масса мишени для поиска нейтринного излучения от коллапсов звезд равна 105 т сцинтиллятора и 1000 т окружающей детектор соли (NaCl).
- В течение 40 лет сцинтиллятор на основе уайт-спирита не потерял своих стартовых кондиций. Он не менялся. Его прозрачность осталась неизменной.

Подземная часть научной станции



Фон естественной радиоактивности соли примерно в **300** раз меньше, чем в обычном грунте.

АСД



Высота детектора – 5,47 м, диаметр – 5,56 м.

Аппаратная



МОДЕЛЬ СТАНДАРТНОГО КОЛЛАПСА (МСК)

Модель	$\mathcal{E}_1, \text{эрг}$	$\mathcal{E}_2, \text{эрг}$	$\mathcal{E}_3, \text{эрг}$	$\bar{E}_{\tilde{\nu}_e}, \text{МэВ}^*$	$\bar{E}_{\nu_e}, \text{МэВ}^*$	$E_{\nu_{\mu,\tau}}, \text{МэВ}^*$	$T, \text{с}$
I	$(3-14) \cdot 10^{53}$	$(0,5-2,3) \cdot 10^{53}$	10^{52}	12,6	10,5	-	20
II				10	8	25	5

\mathcal{E}_1 – полная энергия вспышки, перешедшая в нейтрино всех сортов; \mathcal{E}_2 – полная энергия, уносимая нейтрино одного типа ν_i , где $\nu_i = \nu_e, \tilde{\nu}_e, \nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu, \nu_\tau, \tilde{\nu}_\tau$; \mathcal{E}_3 – энергия, уносимая ν_e на стадии нейтронизации звезды за время $\sim 3 \cdot 10^{-2} \text{ с}$; $\bar{E}_{\tilde{\nu}_e}, \bar{E}_{\nu_e}, \bar{E}_{\nu_{\mu,\tau}}$ – усредненные по спектрам энергии $\tilde{\nu}_e, \nu_e$ и $\nu_{\mu,\tau}$ соответственно; T – длительность нейтринной вспышки

Детектор АСД может детектировать **все** типы нейтрино

МОДЕЛЬ СТАНДАРТНОГО КОЛЛАПСА (МСК)

$$\tilde{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n, \sigma \approx 9,3 E_{e^+}^2 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$$

$$E_{e^+} = E_{\tilde{\nu}_e} - 1,3 \text{ MeV}$$

$$n + p \rightarrow d + \gamma, E_\gamma = 2.2 \text{ MeV},$$

$$n + {}^{35}\text{Cl} \rightarrow {}^{36}\text{Cl}^* + \Sigma\gamma,$$

$$E_\gamma = 5 \div 7 \text{ MeV}$$

$$\tau_n = 170 \text{ мкс}, W = 85\%$$

$$\nu_i + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{C}^* + \nu_i,$$

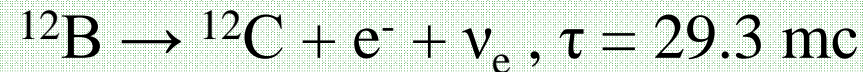
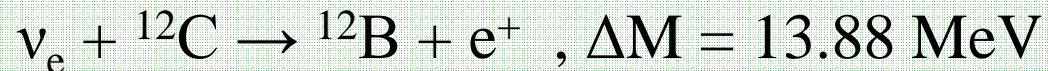
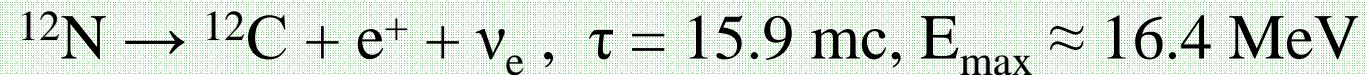
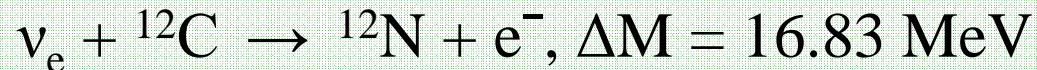
$${}^{12}\text{C}^* \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma (15.11 \text{ MeV}) (96\%)$$

$${}^{12}\text{C}^* \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma (10.7 \text{ MeV}) + \\ + \gamma (4.4 \text{ MeV}) (4\%)$$

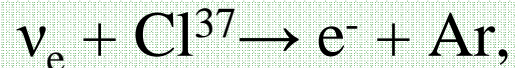
- $\sigma_{\nu_e} = 0,066 \cdot 10^{-42} \text{ см}^2$ для спектра нейтрино Ферми-Дирака со средней энергией $E_{\nu_e} = 10 \text{ МэВ}$ (спектр электронных ν_e в стандартной модели)
- $\sigma_{\nu_\mu} = 1,23 \cdot 10^{-42} \text{ см}^2$ для спектра нейтрино Ферми-Дирака со средней энергией $E_{\nu_i} = 25 \text{ МэВ}$ (спектр мюонных и тау-нейтрино в стандартной модели)

Детектор АСД может детектировать **все** типы нейтрино

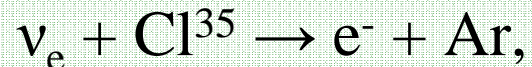
МОДЕЛЬ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ
КОЛЛАПСАРА (МВК)



Электронные нейтрино с энергиями 30-40 МэВ вступают в реакцию с NaCl



$$E_{\text{th}} \sim 800 \text{ keV} \quad (24.5\%)$$



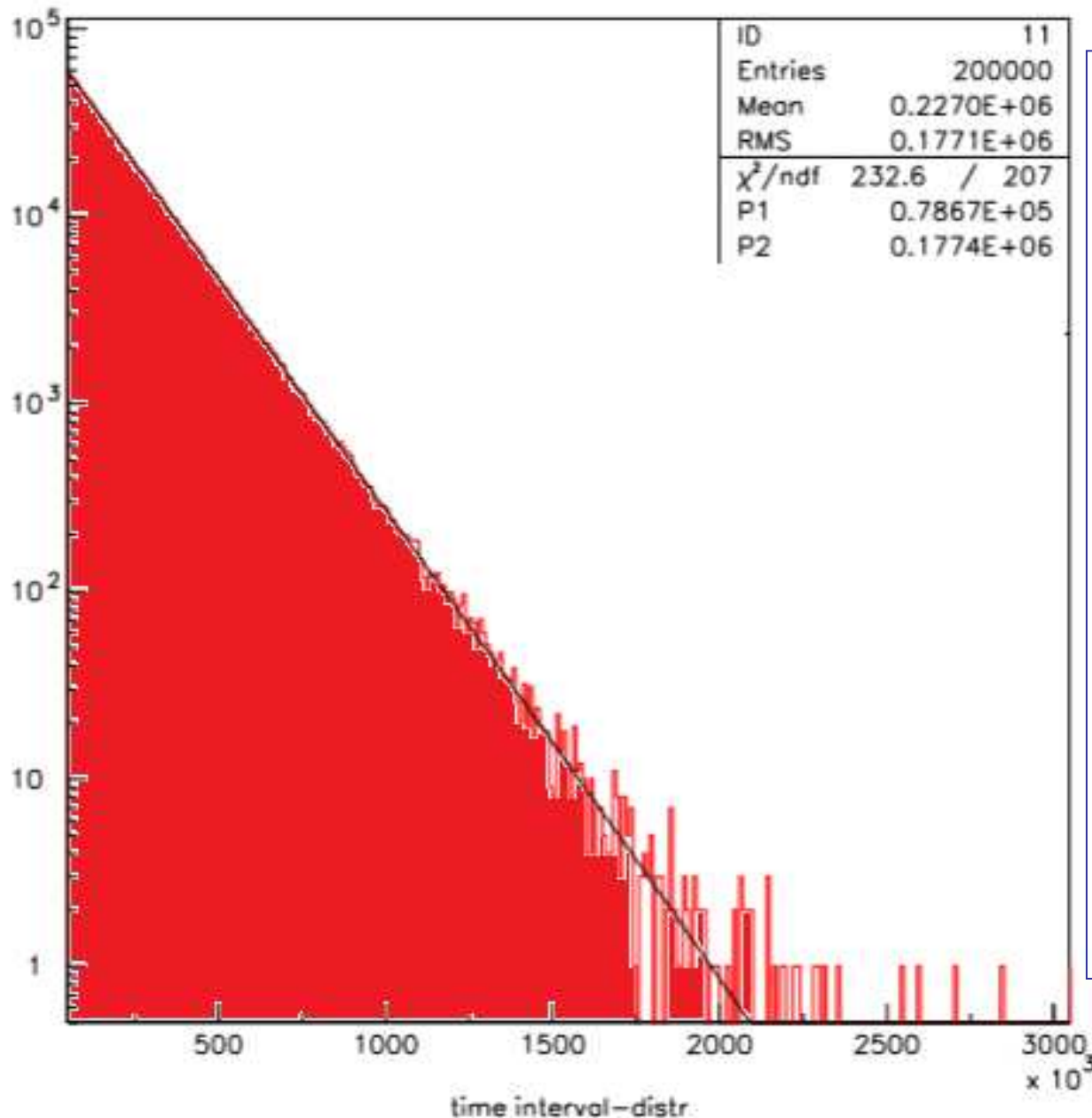
$$E_{\text{th}} \sim 5 \text{ MeV} \quad (75.5\%).$$

При взаимодействии нейтронов с солью высока вероятность рождения Mg^{23} в возбужденном состоянии с излучением γ -кванта с энергией $\sim 7,5 \text{ МэВ}$

Основные детекторы по поиску звездных коллапсов

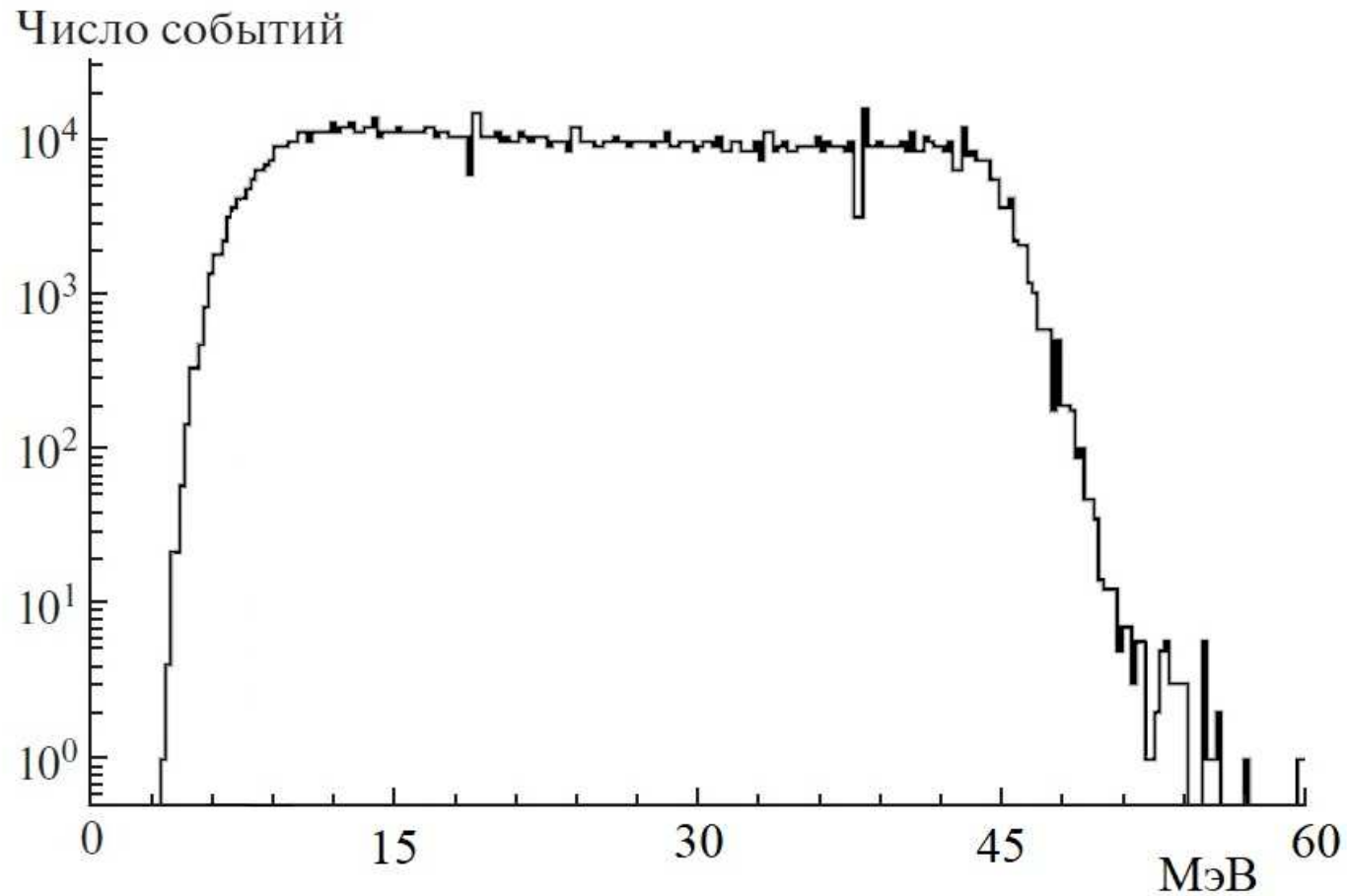
Эксперимент, страна	Начало работы, год	Масса мишени	Число электронных antineutrino в МСК	Число электронных нейтрино в МВК
АСД, Россия	1977	0.1 кт, ЖС 1 кт, NaCl	57	44
БПСТ, Россия	1980	0.2 кт, ЖС 0.16 кт, Fe	67	8
KamLAND, Япония	2002	1 кт, ЖС	500	180
Borexino, Италия	2007	0.3 кт, ЖС	120	60
LVD, Италия	1992	1 кт, ЖС 1 кт, Fe	500	410
SuperK, Япония	1996	22.5 кт, H ₂ O	9400	650
NOvA, США	2014	14 кт, ЖС	7000	2500
IceCube, Антарктида	2005	10 ⁶ кт, лед	4 × 10 ⁸	28 × 10 ⁶

Научные результаты

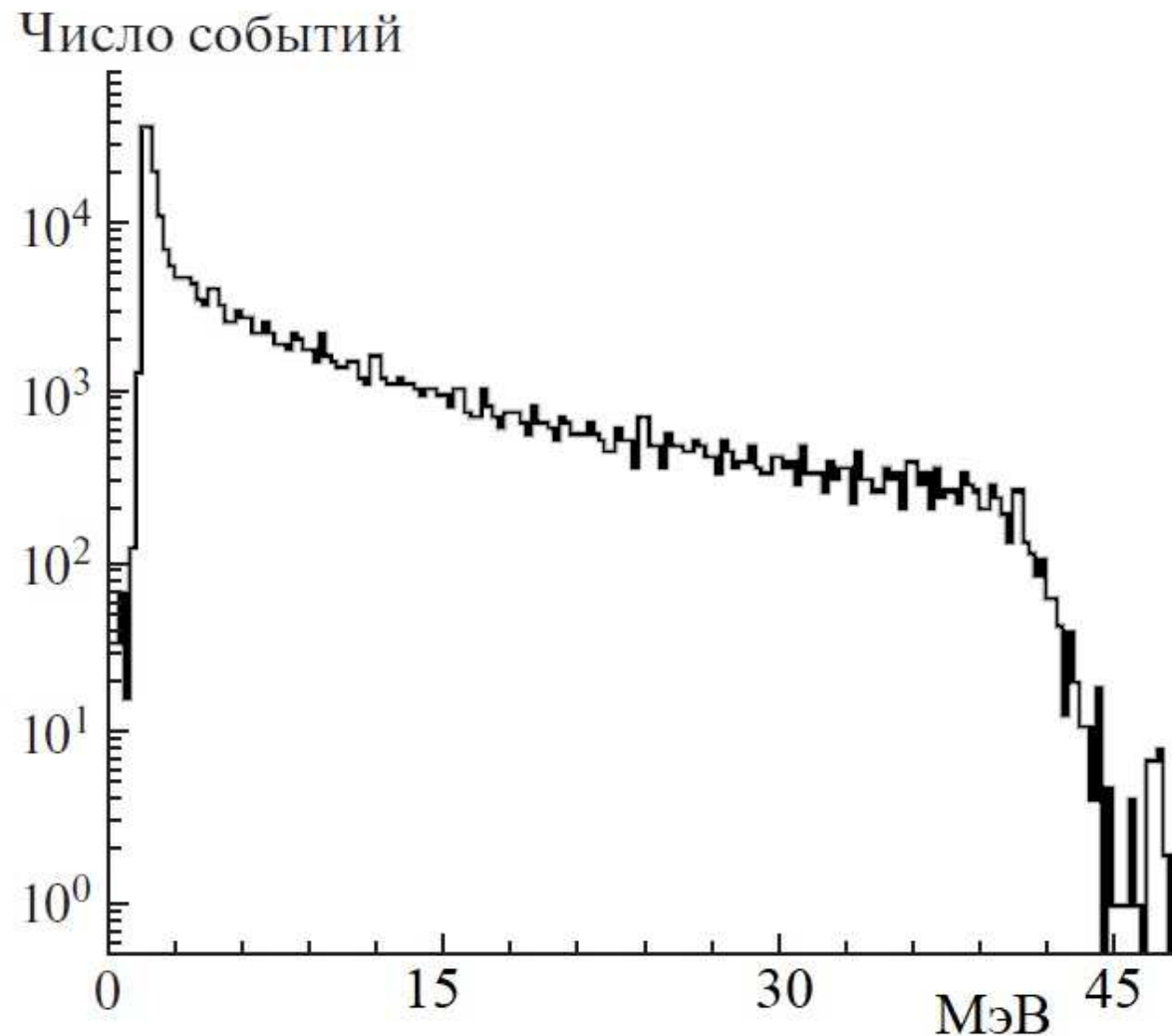


По данным работы нейтринного телескопа АСД (Артемовской Научной станции) в течение 40 лет (1977 - 2017) получено **самое сильное экспериментальное ограничение** на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звёзд в Галактике: **менее 1 события за 17,37 лет на 90% уровне достоверности.**

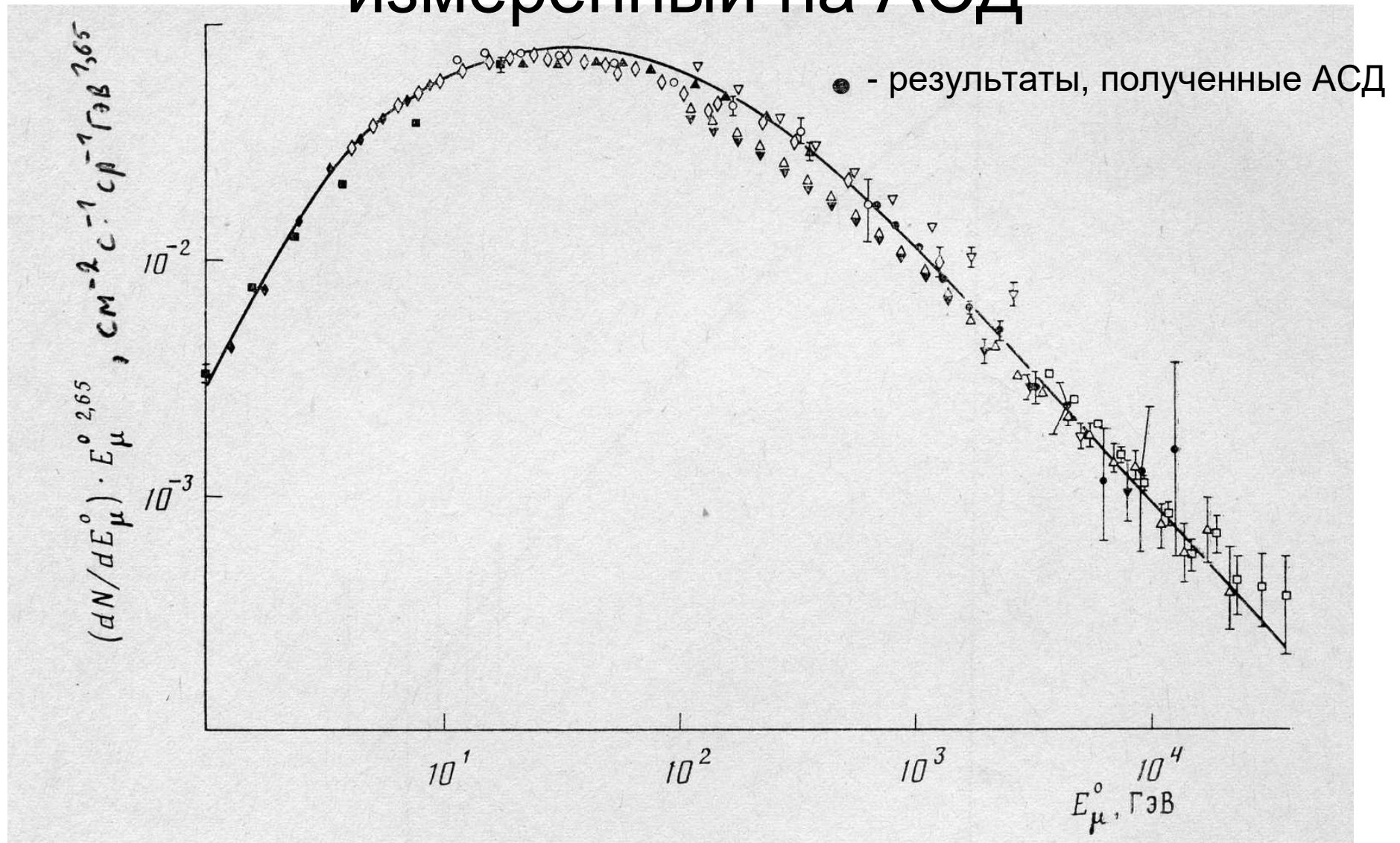
Спектр энерговывделений в детекторе АСД. Нижний порог 5 МэВ.



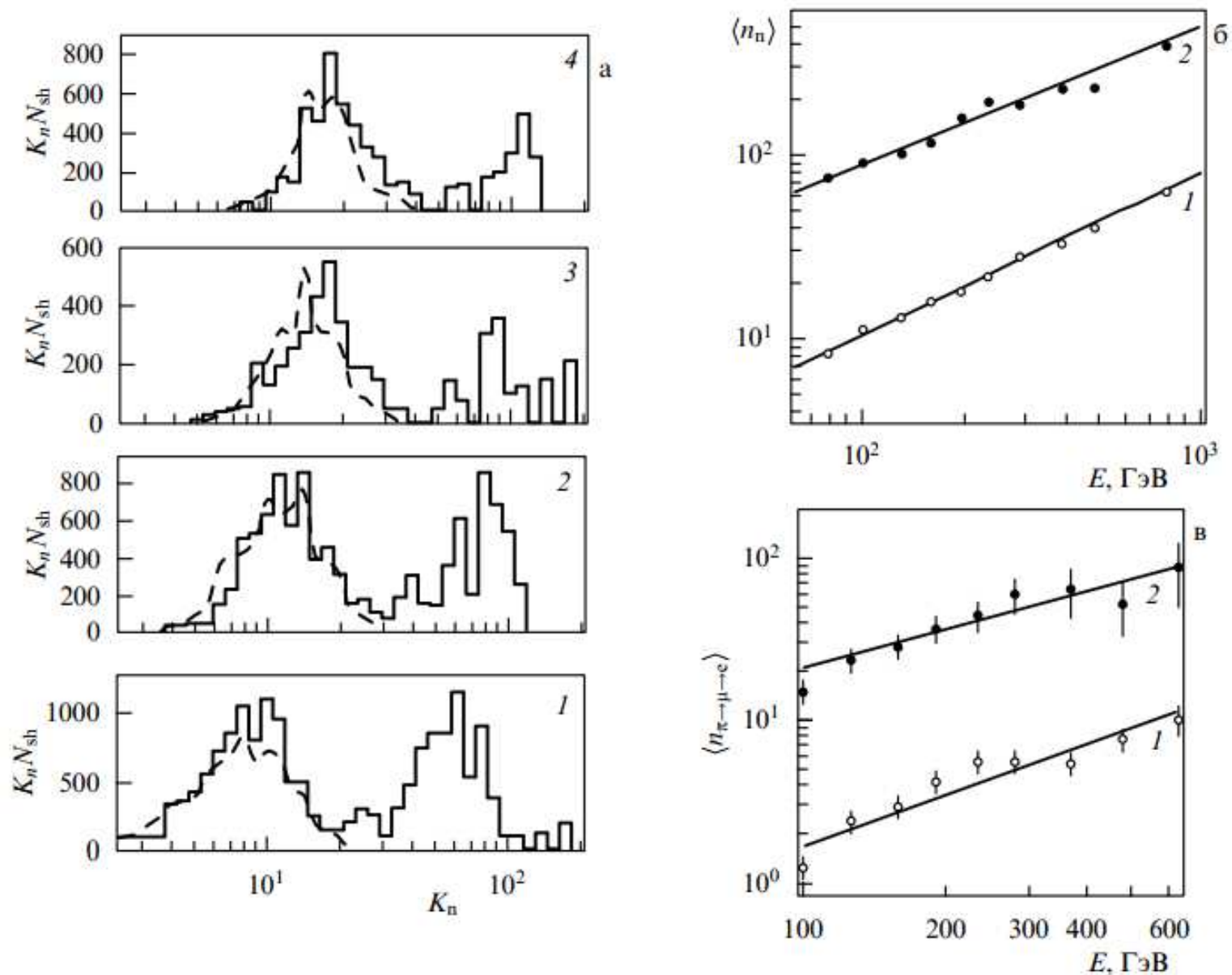
Спектр энерговывделений в детекторе АСД. Нижний порог 1 МэВ.



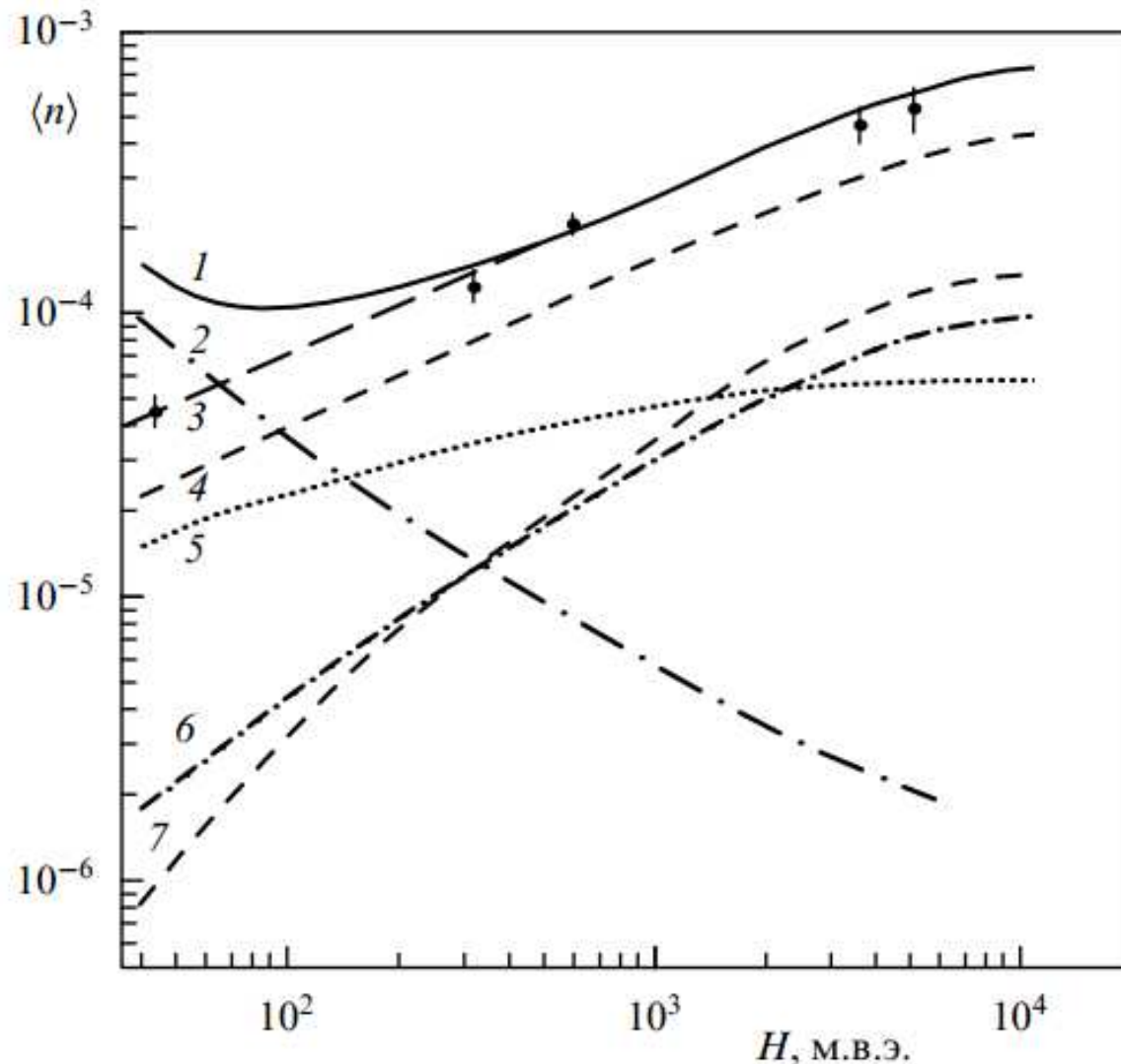
Спектр мюонов для вертикального направления на уровне моря, измеренный на АСД



Зависимость числа ливней от числа нейтронов, зарегистрированных в них



Генерация нейтронов



Количество генерируемых нейтронов в 1 г см^{-2} грунта в расчете на один мюон как функция глубины. Кривые — вклады различных процессов. Точки — результаты экспериментов на АНС (глубины – 25, 316 и 570 м.в.э. от границы атмосферы).

- Кривая 1 - показывает полное число нейтронов, образованных во всех процессах.
- На небольших глубинах (вплоть до ~ 80 м в.э.) основным источником нейтронов является μ -захват (кривая 2).
- На больших глубинах нейтроны производятся преимущественно в ядерных ливнях (кривая 4), которые инициируются пионами, рожденными в реакциях глубоконеупругого взаимодействия мюонов с ядрами вещества и электромагнитных ливнях, генерируемых δ -электронами, γ -квантами тормозного излучения и e^+e^- -парами (кривые 5, 6 и 7, соответственно).
- Кривая 3 демонстрирует полное число рожденных нейтронов без учета процесса μ -захвата. Вклад ядерных ливней в генерацию нейтронов, как видно из рис., на глубинах больше 1000 м в.э. в 1.5 раза превышает вклад электромагнитных ливней.

Монте-Карло

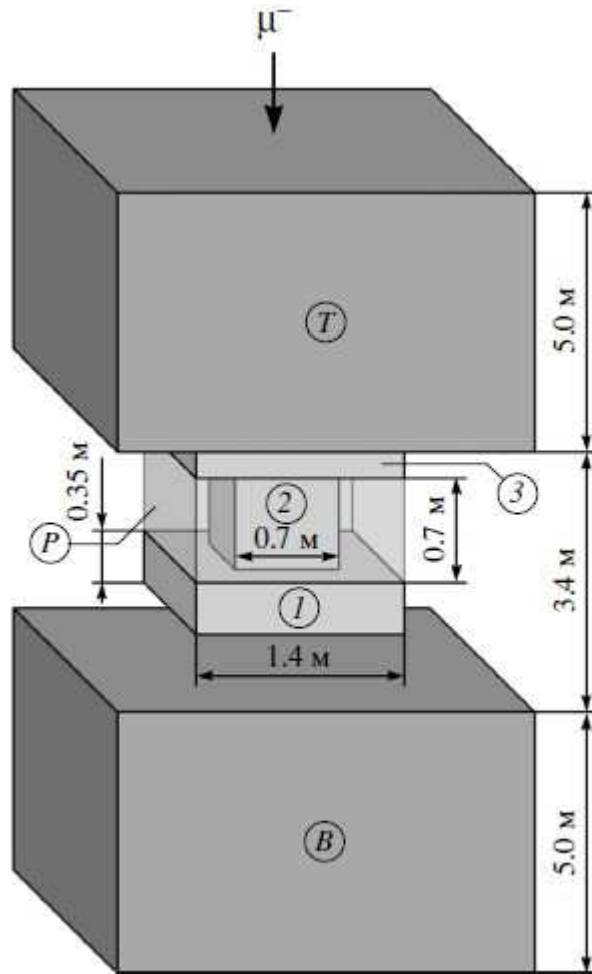


Схема установки для экспериментов на глубинах 25 и 316 м в.э. Объемы *T* и *B* моделируют окружающий грунт, объемы 1–3 — сцинтиллятор, *P* — окружающий парафин.

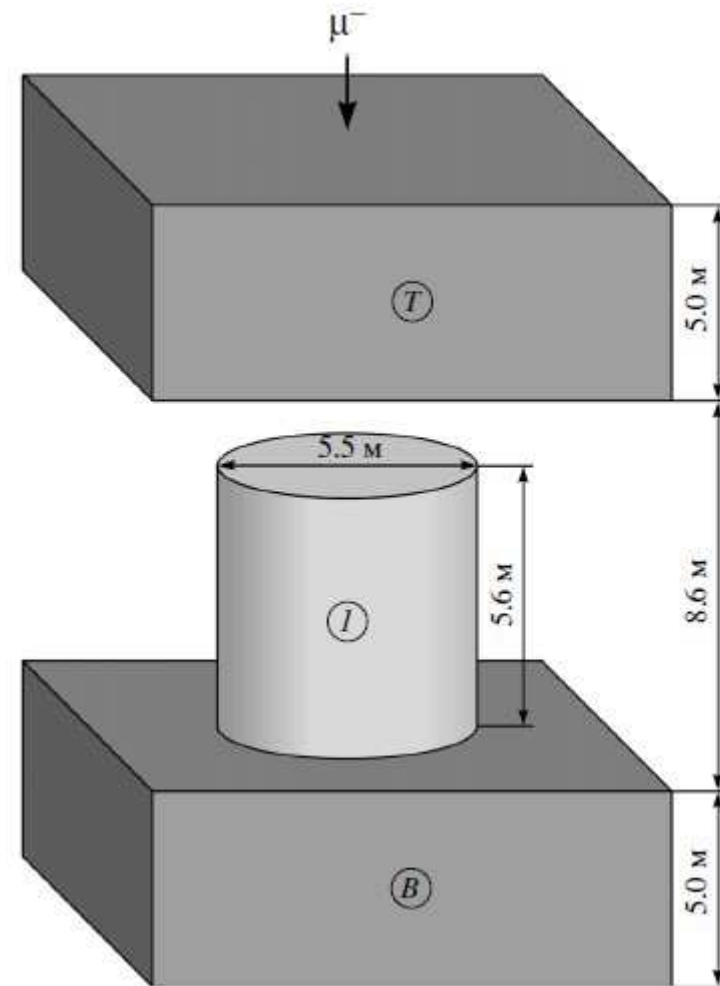


Схема установки для эксперимента на глубине 570 м в.э. Объемы *T* и *B* моделируют окружающий грунт, объем 1 — сцинтиллятор.

Генерация нейтронов мюонами

Сравнение экспериментального и расчетного значения генерации нейтронов Y_n на различных глубинах для разных веществ, окружающих сцинтилляционные счетчики (в ед. $n/\mu/(\text{г}/\text{см}^2)$)

Глубина, м в.э.	Эксперимент		Расчет			
	E_μ , ГэВ	Y_n	E_μ , ГэВ	Y_n		
				соль	ЖС*	гипс
25	16.5 ± 8.1 16.7 ± 8.2	0.36 ± 0.03 [12] 0.47 ± 0.05 [10]	16.8	0.388	0.55	0.392
316	86 ± 18	1.2 ± 0.12 [10]	86	1.2	1.26	1.28
570	125 ± 22	2.04 ± 0.24 [11]	125	1.71	1.64	–

* ЖС – жидкий сцинтиллятор.

Список опубликованных работ за последние 5 лет

- Р. И. Еникеев и др. **Поиск нейтринного излучения от коллапсирующих звезд на Артемовском сцинтилляционном детекторе**, Известия РАН сер. Физ., 2013, 77 N 11, 1594-1596
- О.Г. Ряжская, «Об экспериментах в подземной физике», УФН т.183, №3 (2013), с.317-323
- К.В. Мануковский, О.Г. Ряжская, Н.М. Соболевский, А.В. Юдин, **"Генерация нейтронов мюонами космических лучей в различных веществах"**, ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2016, том 79, №4, с. 417–426
- А.Г. Антоненко, В.П. Борщевский, Р.И. Еникеев, О.В. Очкас, О.Г. Ряжская, Л.В. Чернышов, А.П. Ярош, Н.А. Ярош **«Сорок лет Артемовскому Сцинтилляционному детектору нейтрино»** // Яд. Физ. (2018)

Сотрудники АНС

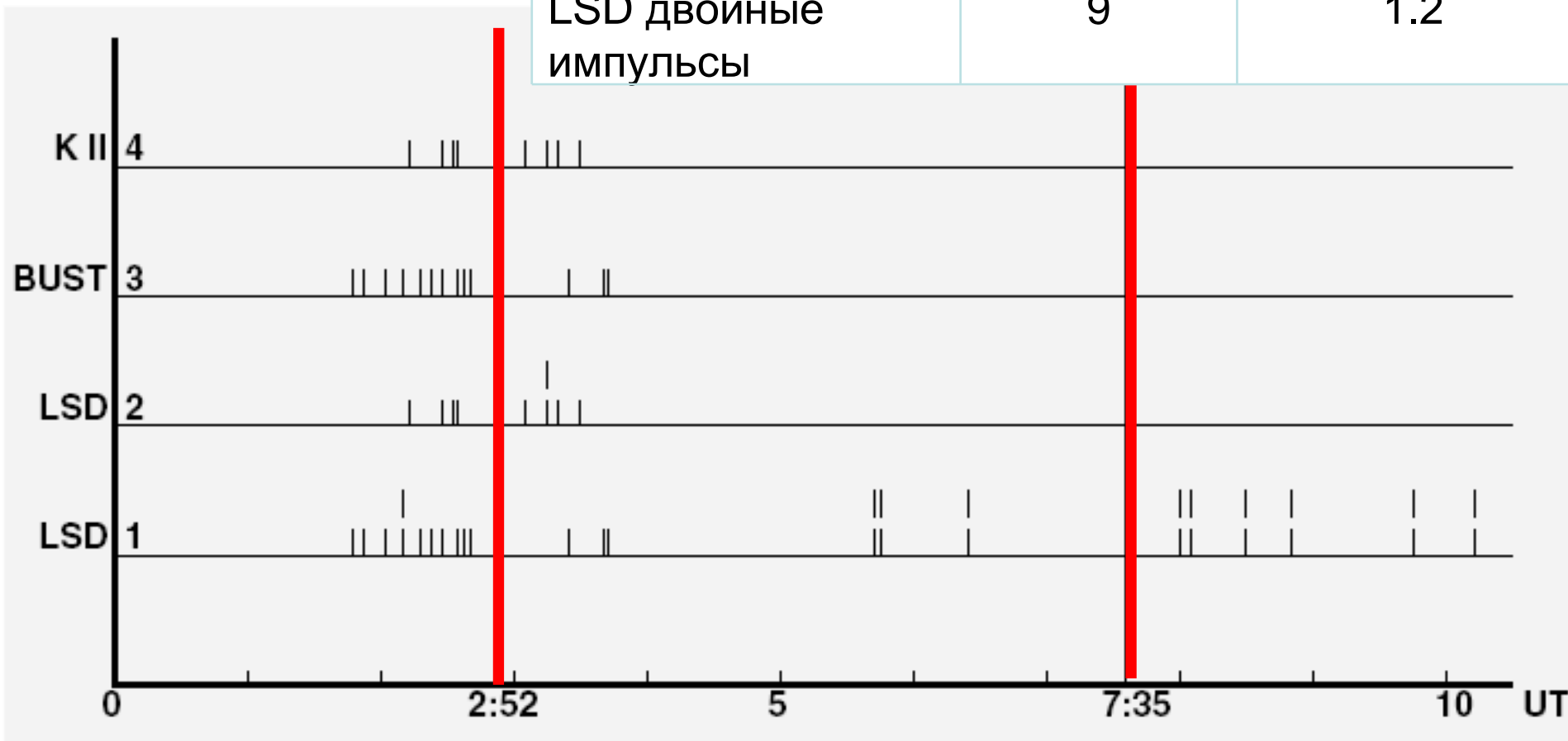


Перспективы развития установки

- Поиск нейтринного излучения от коллапсирующих звезд
- Создание системы EuroSNEWS.
- Поиск временных совпадений в детекторах АСД, БПСТ, LVD
- Изучение сезонных вариаций потоков мюонов и нейтронов, генерированных мюонами

**Coincidence by chance with SN
1/3000 years**

	Совпадени я	Случайные совпадения
LSD –KII	8	2
LSD-BUST	13	3
LSD двойные импульсы	9	1.2



Временная диаграмма импульсов в БПСТ, совпадающих с импульсами в LSD во временном интервале 1 секунда; совпадения для KII и LSD, двойные импульсы в LSD за весь период с 00:00 до 10:00 UT 23 февраля 1987 года.

Спасибо за внимание

Достопримечательности АНС



Записка для ученого совета ИЯИ РАН

Известна выдающаяся роль, которую сыграл Советско-Итальянский детектор LSD (под Монбланом и с научным руководством и личным участием чл.-корр. Ряжской О.Г.), в регистрации нейтринного излучения от сверхновой SN1987A более 30 лет назад. В настоящее время теоретически обоснованным считается, что это нейтринное излучение состояло из 5 событий, соответствующих детектированию нейтрино, а не антинейтрино. Для регистрации антинейтрино были подготовлены все другие подземные детекторы нейтринного излучения в мире. В то далекое время детектор в Артемовске (АНС, Донецкая обл., СССР) оказался бездействующим из-за профилактического ремонта, детектор в Баксанском ущелье был тоже не способен регистрировать нейтрино.

По прошествии 30 лет, которые, заметим, считаются астрономами средним промежутком времени для вспышек сверхновых типа SN1987A во всех галактиках типа нашей Галактики, можно ожидать подобную вспышку сверхновых именно в ней, причем того же типа. Нам представляется, что было бы крайне нежелательно отсутствие дублирующего детектора нейтринного излучения у ныне действующего подземного детектора LVD с регистрацией именно нейтрино, а не антинейтрино. Детектор в Артемовске, сооруженный в благоприятном окружении соли NaCl, способен надежно зарегистрировать как нейтрино, так и антинейтрино по свидетельству О.Г. Ряжской.

С.С. Герштейн, академик РАН

В.С. Имшенник, чл.-корр. РАН

02 октября 2017 года.



Поддерживает:
директор ГАИИМГУ

 (А.М. Черенчук)