

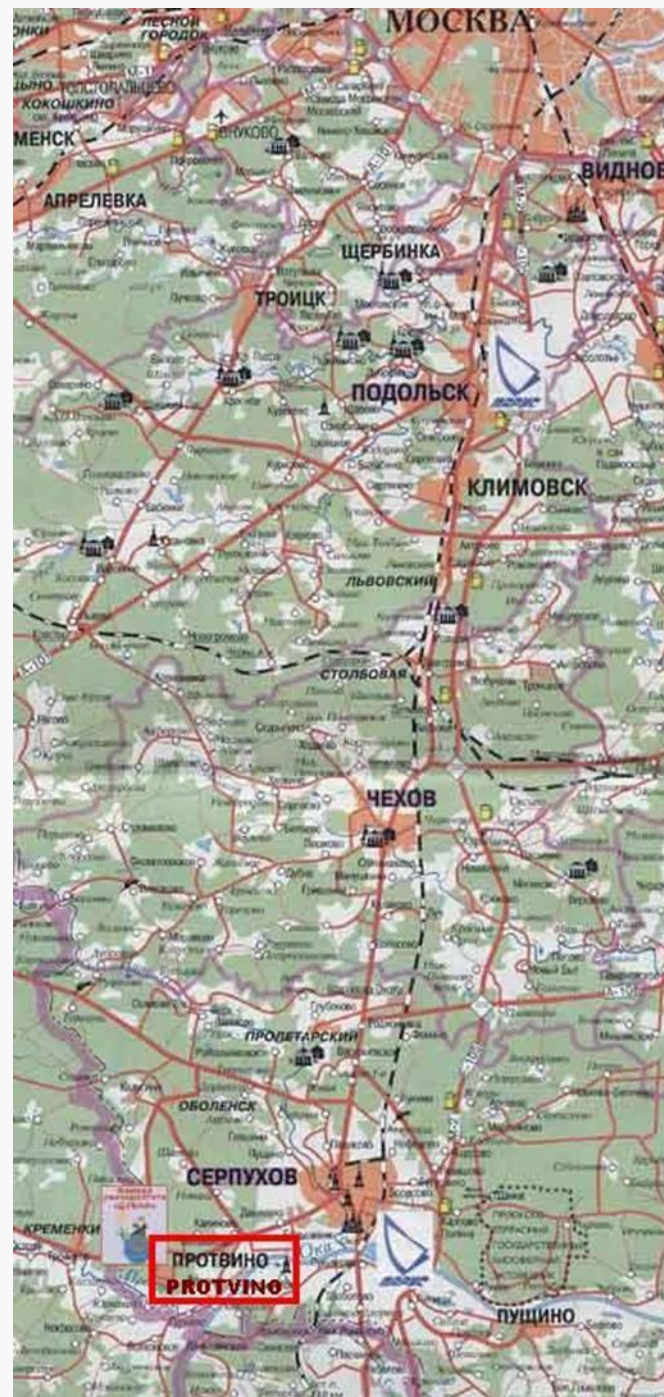


Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
имени А.А.Логонова

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»



<http://www.ihep.ru>



Протвино - небольшой город
в сосновом бору на реке Протва,
притоке Оки,
на юге Московской области
недалеко от древнего **Серпухова**.

Недолгая история города Протвино
тесно связана с созданием
крупного научного центра – ИФВЭ
и развертыванием в нем
масштабных научных
исследований.

В настоящее время
Протвино - наукоград



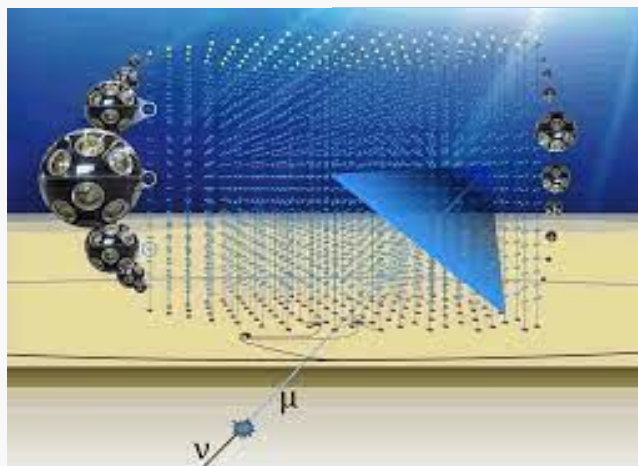
Protvino to ORCA project

P20

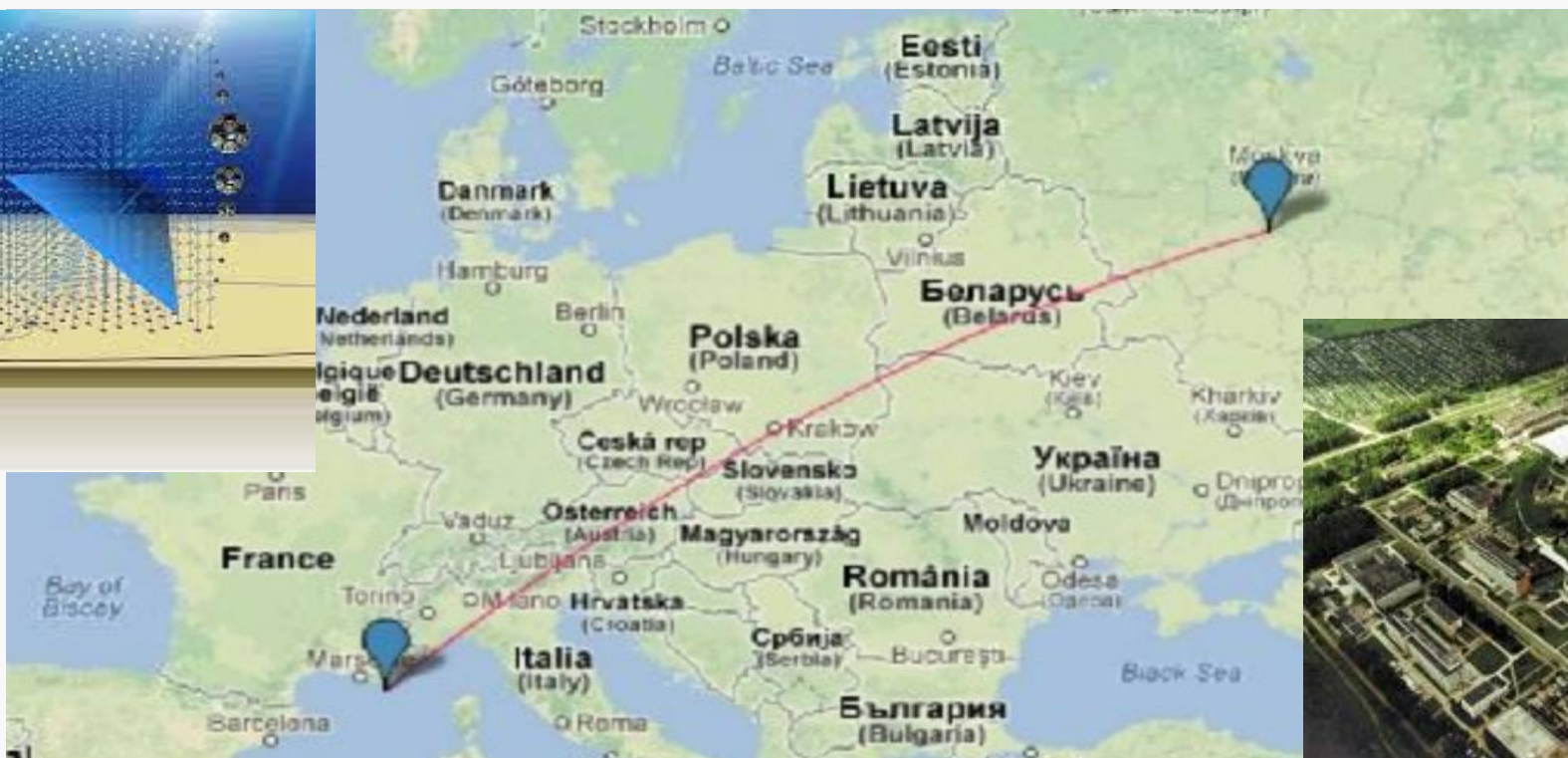
Эксперимент Protvino to ORCA (P20)

Базовая линия: 2588 км

Угол наклона линии пучка: 11.7°



ORCA



PROTVINO



Experiment	T2K		T2HK	NO ν A	DUNE	P2O	
Location	Japan		Japan	USA	USA	Russia/Europe	
Status	operating		proposed	operating	construction	proposed	
Accelerator facility	J-PARC		J-PARC	Fermilab	Fermilab	Protvino	
Baseline	295 km		295 km	810 km	1300 km	2595 km	
Off-axis angle	2.5°		2.5°	0.8°	0°	0°	
1-st max $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	0.6 GeV		0.6 GeV	1.6 GeV	2.4 GeV	4 GeV	
Detector	SuperK		HyperK	NO ν A	DUNE	ORCA	Super-ORCA
Target material	pure water		pure water	LS	liquid Ar	sea water	
Detector technology	Cherenkov		Cherenkov	LS	TPC	Cherenkov	
Fiducial mass	22 kt		186 kt	14 kt	40 kt	8000 kt	4000 kt
Beam power	500 kW		1300 kW	700 kW	1070 kW	450 kW	450 kW
ν_e events per year (NO)	~ 20		230	~ 20	250	3500	3400
$\bar{\nu}_e$ events per year (IO)	~ 6		165	~ 7	110	1200	1100
NMO sensitivity ($\delta_{CP} = \pi/2$)	-	-	4σ	1σ	7σ	8σ	$> 8\sigma$
CPV sensitivity ($\delta_{CP} = \pi/2$)	1.5σ	3σ	8σ	2σ	7σ	2σ	6σ
1σ error on δ_{CP} ($\delta_{CP} = \pi/2$)			22°		16°	53°	16°
1σ error on δ_{CP} ($\delta_{CP} = 0$)			7°		8°	32°	10°
Year / data taking years	2018	2026	10 yr	2024	10 yr	3 yr	10 yr
Refs.	[27]	[29]	[2, 30]	[3, 31]	[4, 5]		

Таблица 1: Чувствительность нынешних и будущих нейтринных экспериментов на ускорителях с длинной базой к упорядочению массы нейтрино и лептонного CP-нарушению. Все чувствительности даны для случая нормального массового упорядочения. Дано ожидаемое количество событий ν_e ($\bar{\nu}_e$) в год.

- ПЛАНИРУЕМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ P2O:
- 1. Измерения параметров нейтринных осцилляций
- 2. Исследования фазы Дирака с CP-нарушением
- 3. Измерение иерархии масс нейтрино
- 4. Другие эффекты в нейтринной физике

Схема нейтринного канала

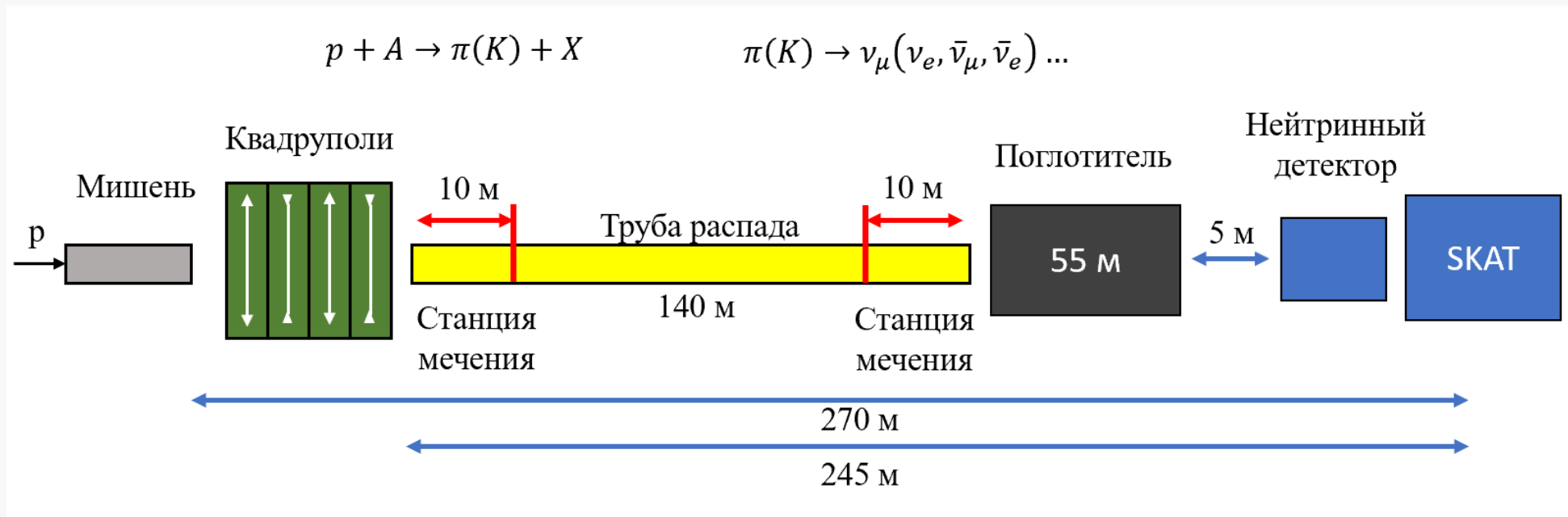


Схема возможного нейтринного канала, позволяющего формировать «меченые» нейтрино. Длина распадного канала 140 м, системы мечения расположены на первых и последних 10 метрах канала. Для того, чтобы в детектор попали только нейтрино, используется поглотитель длиной 55 м, состоящий из стальных балок.

ν tagging concept

Each neutrino is fully & precisely **characterised from its decay partners**

Similar to old ideas [1] that the **progress on Silicon Trackers** makes now feasible

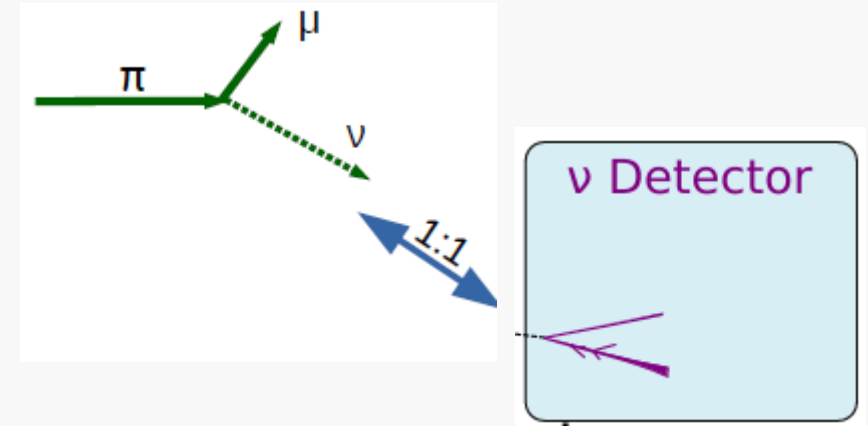
[1] S. P. Denisov et al., preprint IHEP 80-158, Serpukhov, 1980. Tagged Neutrino Facility at Protvino.

Reconstruct **each and all** $\pi \rightarrow \mu \nu$ decays

- ✓ ν **energy, direction** and **chirality** precisely known
 - ν **flux** perfectly determined

$$\vec{p}_\nu = \vec{p}_\pi - \vec{p}_\mu$$

**Challenge 1
RATE**



Associate **each ν seen in ν -detector to its $\pi \rightarrow \mu \nu$ genitor**

- ✓ Association done based on time and angular matching
 - **<1% energy resolution** can be used at ν interaction
 - ν and anti- ν can be **collected together**

**Challenge 2
MATCHING**

Схема канала для формирования меченых нейтрино

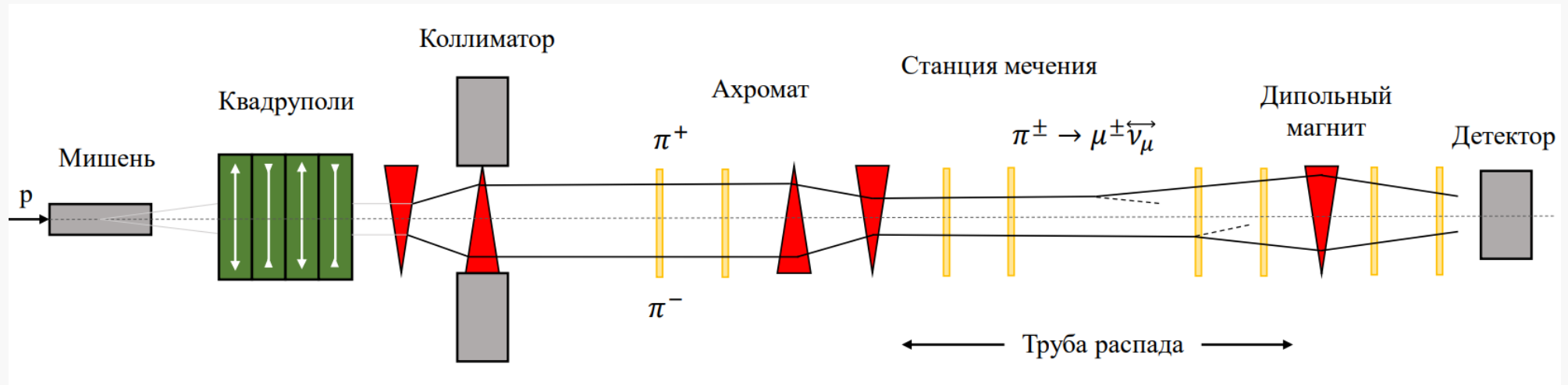
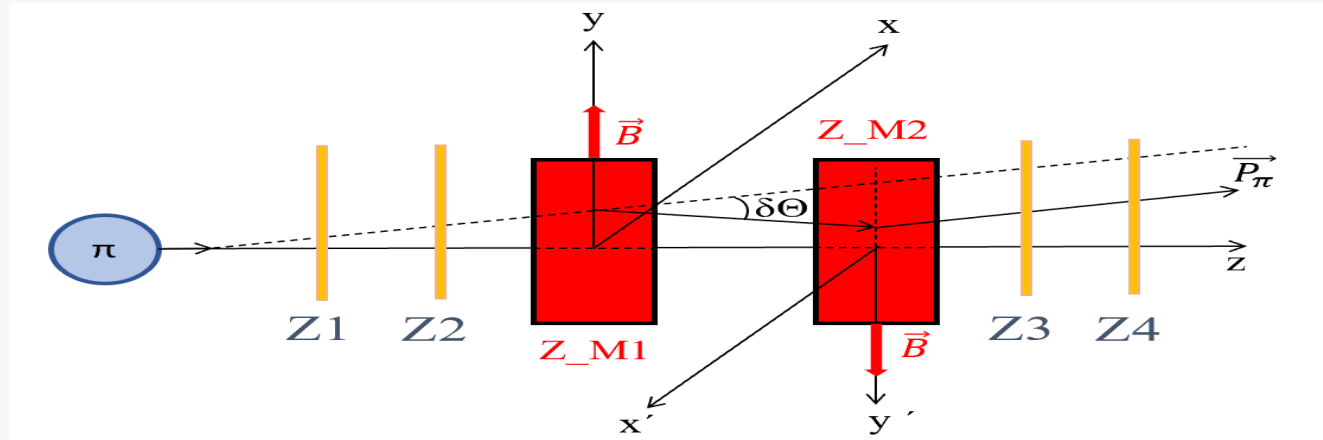


Схема нейтринного пучка, в котором возможно производить мечение нейтрино. Зеленые прямоугольники представляют квадруполы, красные треугольники - диполи, а вертикальные желтые линии соответствуют координатным плоскостям станции мечения. Их количество и расположение не оптимизированы.

Формулы для вычисления угла $\delta\Theta$ и $P_{\pi_{xz}}$ с использованием станции мечения:



Формула для измерения угла $\Theta_{\pi_{xz}}$ в плоскости xz с использованием станции мечения:

$$\Theta_{\pi_{xz}} = \arctan \left(\frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1} \right)$$

где x – x -координата π -мезона, z -координата π -мезона, индексы соответствуют номеру плоскости мечения.

При прохождении π -мезона через магнит его направление в плоскости xz отклоняется на угол:

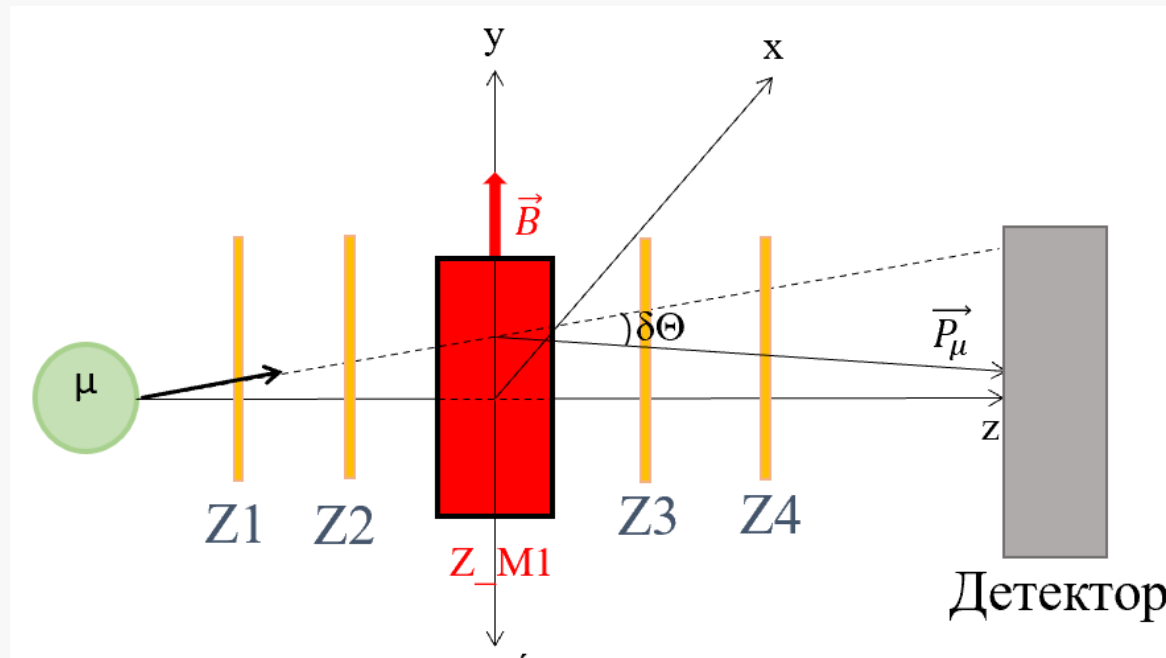
$$\delta\Theta_{\pi_{xz}} = \frac{30\vec{B}L_B}{P_{\pi_{xz}}}$$

где \vec{B} индукция магнитного поля в диполе, L_B расстояние между диполями.

Угол $\delta\Theta_{\pi_{xz}}$ может быть определен с помощью измерения смещения направления π -мезона:

$$\tan(\Theta_{\pi_{xz}} + \delta\Theta_{\pi_{xz}}) = \frac{\left(x_3 - \left(\frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1} \right) (z_3 - z_1) + x_1 \right)}{L_B} + \tan(\Theta_{\pi_{xz}})$$

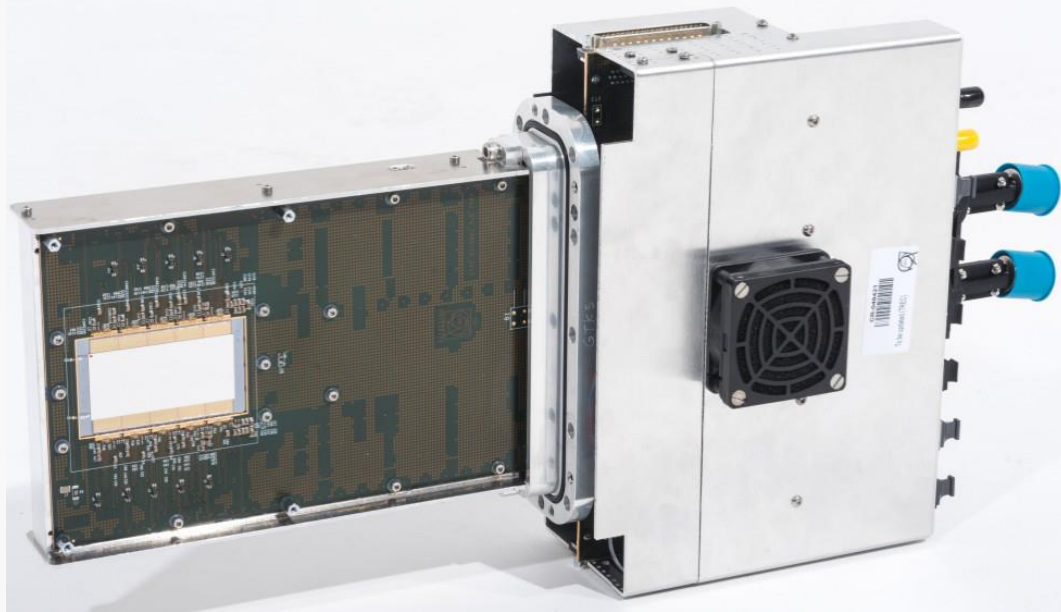
Станция мечения мюонов



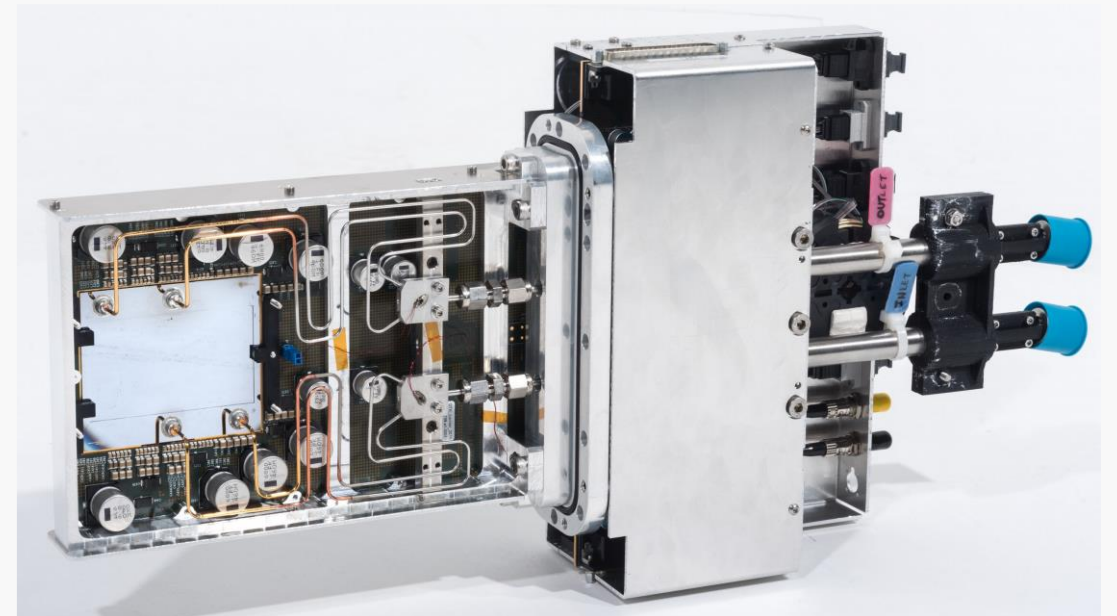
Эта станция сконструирована, как и предыдущая, но в ней имеется только один магнит. Импульс мюона определяется здесь измерением отклонения направления мюона после прохождения станции. Направление мюона определяется с помощью координатных плоскостей станции мечения. После измерения направления и импульса π -мезона и мюона в станциях мечения можно определить направление и импульс нейтрино, используя кинематику распада $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$.

The GigaTraKer Module

Sensor side



Cooling plate side



Цель работы: расчет чувствительности проекта P20 к измерению параметров осцилляций нейтрино.

Задачи работы:

- 1.изучить эксперимент P20;
- 2.изучить процесс осцилляций нейтрино в вакууме и веществе;
- 3.провести моделирование осцилляций в GLoBES (General Long Baseline Experiment Simulator);
- 4.моделирование нейтринного канала в GEANT4;
- 5.изучить метод «меченых» нейтрино и провести моделирование нейтринного канала, позволяющего формировать пучок «меченых» нейтрино;
- 6.рассчитать чувствительность P20 к определению иерархии масс нейтрино, к нарушению фазы δ_{CP} -четности;
7. начало работы по созданию станций меченя нейтрино (трекеры).