

Физическая программа экспериментов с модернизированным КМД-3

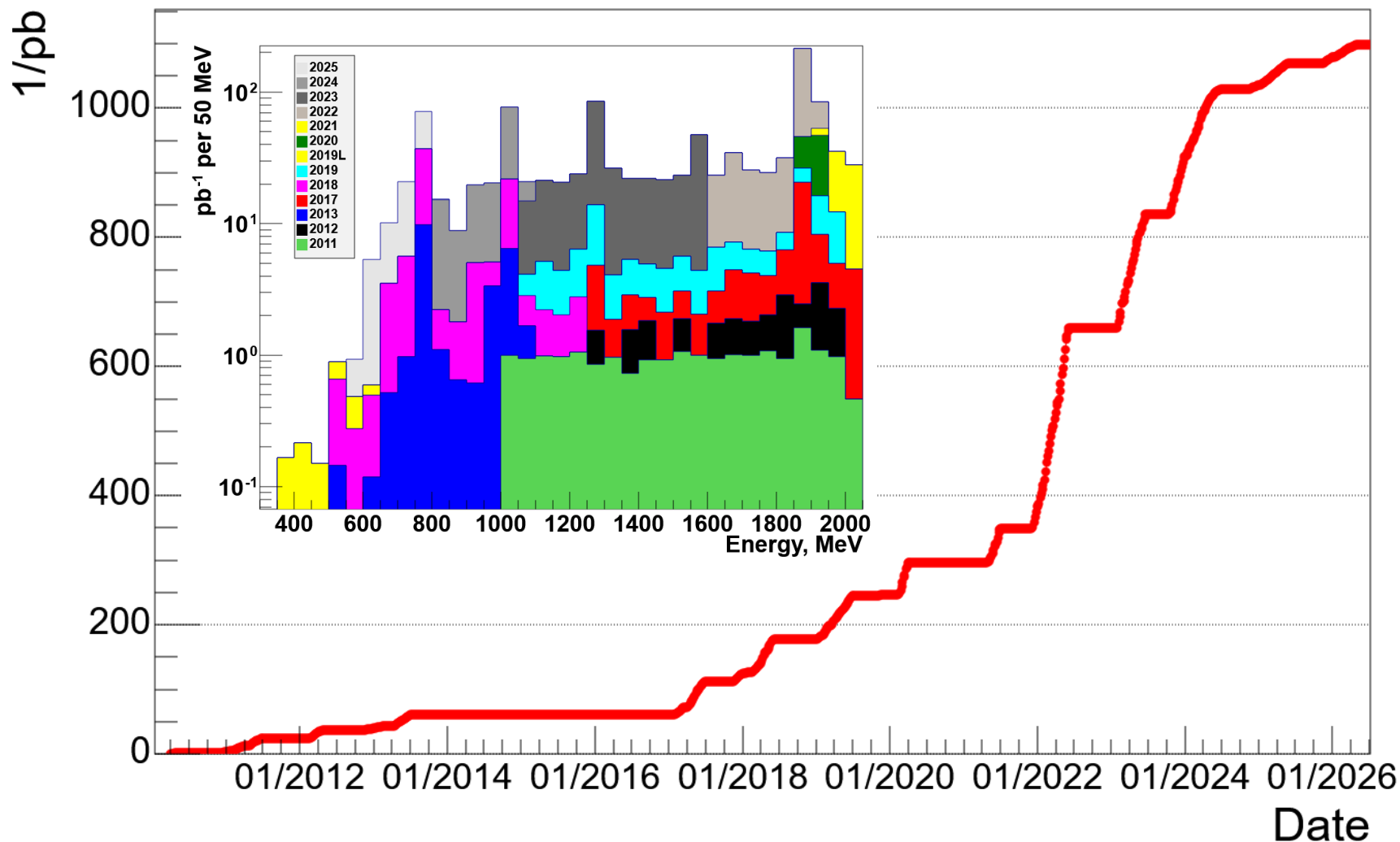
Логашенко И.Б.

25 августа 2026

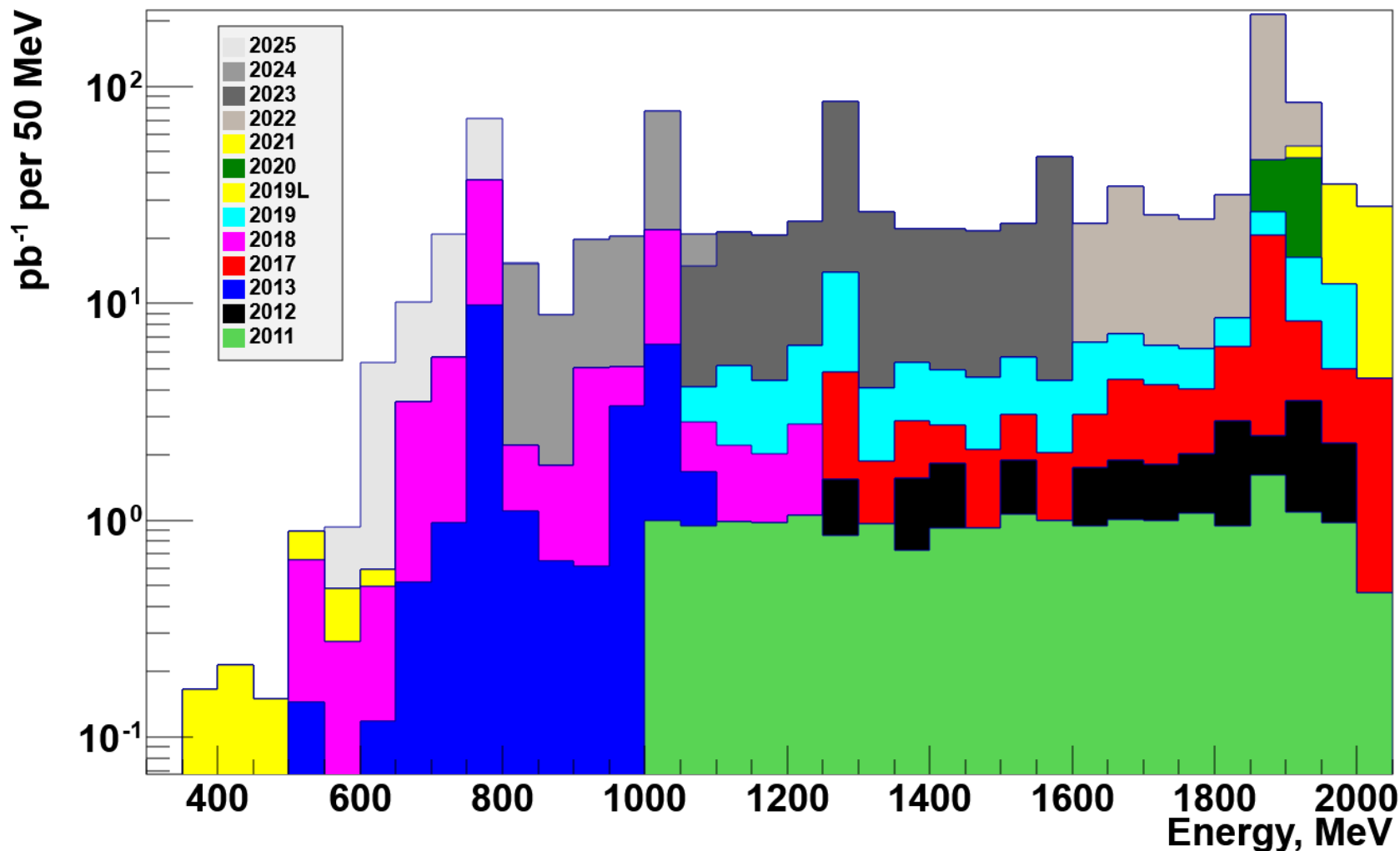
По мотивам:

- Ф.В.Игнатов, «Что нужно для точного измерения формфактора пиона», 3.02.2023
- И.Б.Логашенко, «Возможные планы модернизации КМД-3», 21.12.2023
- И.Б.Логашенко, «Модернизация КМД-3: планы и развилки», 18.04.2024
- И.Б.Логашенко, «Измерение формфактора пиона: физическая задача и требования к детектору», 4.02.2025

Набранная статистика на КМД-3



Набранная статистика на КМД-3



Требования к точности

$$a_\mu(BSM) \pm \Delta a_\mu(BSM) = [a_\mu(exp) - a_\mu(SM)] \pm \sqrt{\Delta a_\mu(exp)^2 + \Delta a_\mu(SM)^2}$$

$\Delta a_\mu(BSM)$ determines the power of a_μ as test of theoretical models

Reduction of $\Delta a_\mu(BSM)$ is of great importance for flavor physics

FNAL expected precision of 140 ppb corresponds to $\sim 0.23\%$ of $a_\mu^{had,LO}$

Today – 124 ppb ($\sim 0.20\%$)

Need to measure $\sigma(e^+e^- \rightarrow H)$ to $\leq 0.2\%$ in order to match FNAL precision.

To be sure in $a_\mu(SM)$ the community needs:

- ≥ 1 measurement of hadronic cross section ($\pi^+\pi^-$) to $\leq 0.2\%$
- lattice calculations to $\leq 0.2\%$
- they agree
- independent input (MuONE) is very desirable

G-2 мюона в Стандартной Модели

THEORETICAL PREDICTION

Theory initiative

$(g - 2)$ theory initiative from approx. 2017

goal is high-precision theory prediction from Standard Model

several plenary workshops

[White Paper '20] new update [White Paper '25]

[status WP25]		
5-loop QED	11 658 471.88(0.02)	1.7 ppb
2-loop EW	15.44(0.04)	3.4 ppb
HVP	704.5 (6.1)	520 ppb
HLbL	11.55(1.0)	86 ppb

Эксперимент
124 ppb

Theory error dominated by hadronic physics HVP and HLbL

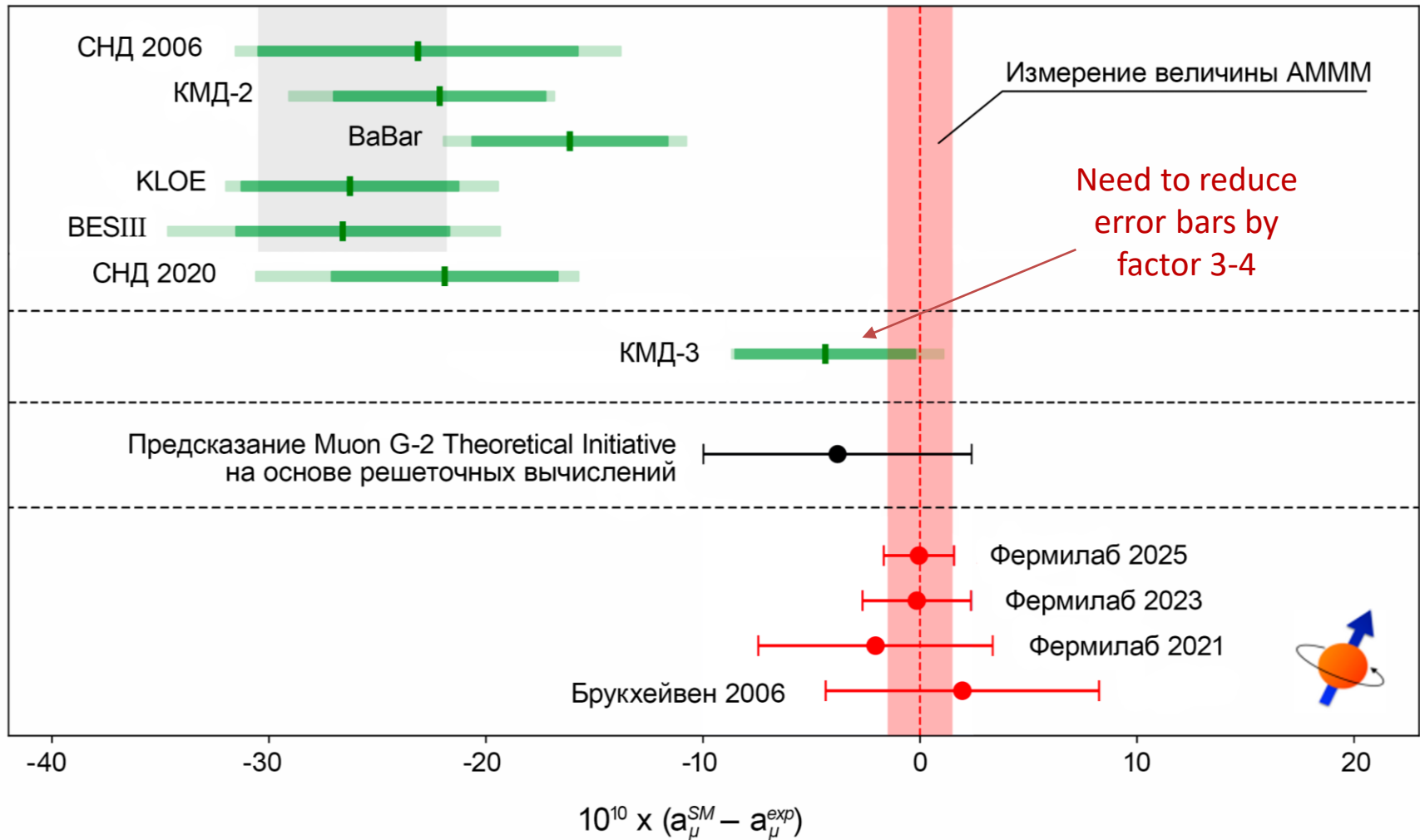
Hadronic Vacuum-Polarization and Light-by-Light

Уточнение адронного вклада в СМ – абсолютно ключевая задача



HVP - status

WP 2025



Измерения в других экспериментах

Plans for upcoming results

- SND: 2025*, ?
- BABAR: 2025*, <0.5%
- KLOE: ????, 0.4%
- BES-III: ????, 0.5%
- BELLE-II
- MUonE
- Tau decays

Измерения в других экспериментах

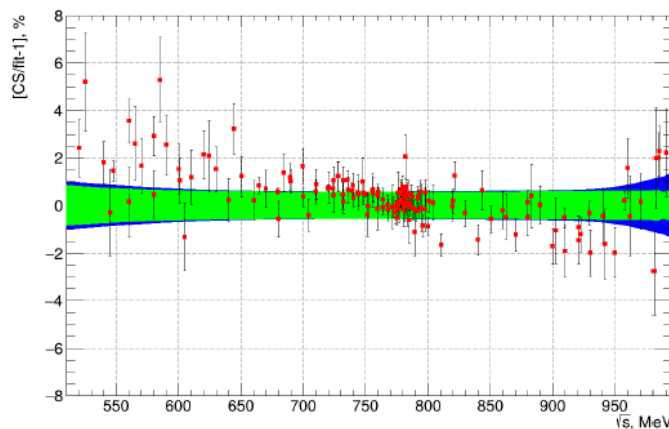
Предварительный результат СНД (2025)

Plans for upcoming results

- SND: 2025*, ?
- BABAR: 2025* $< 0.5\%$
- KLOE: ????, 0.1%
- BES-III: ????, 0.1%
- BELLE-II
- MUonE
- Tau decays

«Calculated a_μ is 1.7% (2σ) higher than one derived from the BaBar data, and 0.6% lower comparing to the CMD-3 result»

Comparison with CMD-3 (UNBLINDED)



Deviation from our fit, green area – systematics, blue one - total uncertainty

$$a_\mu \times 10^{10} = 431.11 \pm 3.52 \text{ vs. CMD-3: } a_\mu \times 10^{10} = 433.62 \pm 3.76$$

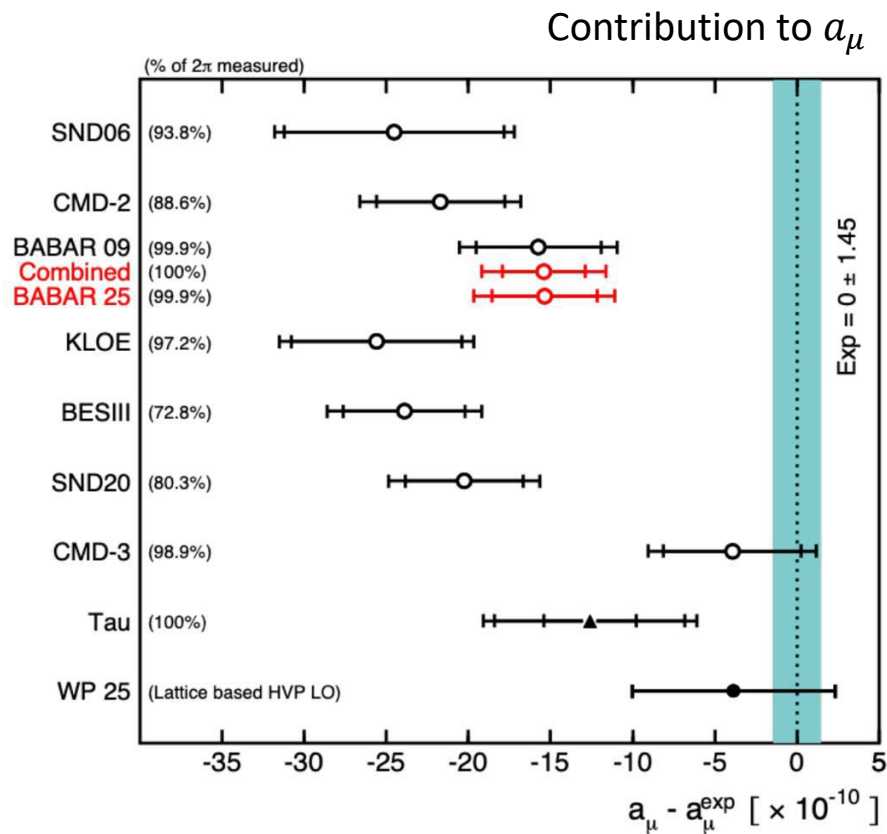


Измерения в других экспериментах

Plans for upcoming results

- SND: 2025*, ?
- BABAR: 2025*, <0.5%
- KLOE: ????, 0.4%
- BES-III: ????, 0.5%
- BELLE-II
- MUonE
- Tau decays

- New **preliminary** measurement from BABAR (ISR)
 - confirms previous BABAR



Научная задача

Низкие энергии (ниже 1.05 ГэВ) – основной приоритет

- $\pi^+\pi^-$ с точностью 0.2% - очень важная задача и нет конкурентов (измерение с точностью 0.4% и хуже не имеет смысла)
- $\pi^+\pi^-\pi^0$ с точностью 1.0%
- Сечение φ (K^+K^- , $K_S K_L$) с точностью 0.6%
- «Opportunistic» возможности: редкие распады ρ , ω ; двухфотонное рождение η' (требуется $O(1/\text{fb})$),...

Канал	Вклад, $\cdot 10^{10}$ (КНТ19)	Отн.точность: надо (есть)
$\pi^+\pi^-$	504.23(1.90) (0.4%)	0.23% (0.8%)
$\pi^+\pi^-\pi^0$	46.63(94) (2.0%)	1.1% (1.5-3%)
$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	13.99(19) (1.4%)	0.8% (2-3%)
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	18.15(74) (4.0%)	2.3% (5%)
K^+K^-	23.00(22) (1.0%)	0.6% (2%)
$K_S K_L$	13.04(19) (1.5%)	0.7% (2%)
$a_\mu(\text{had}; LO)$	692.8(2.4) (0.35%)	0.2%

Систематика измерения формфактора на КМД-3

		Планы КМД-3	Надо
x Radiative corrections	0.2% (2π) $\oplus$ 0.2% ($F\pi$) $\oplus$ 0.1% ($e+e^-$)	0.1%	<0.1%
x $e/\mu/\pi$ separation	0.5 (low) - 0.2 (ρ) - 0.6 (φ) %	0.2%	0.1%
x Fiducial volume	0.5% / 0.8% (RHO2013)	0.2%	0.1%
x Correlated inefficiency	0.1 (ρ) - 0.15% (>1 ГэВ)	0.1%	
x Trigger	0.05 (ρ) - 0.3% (>1 ГэВ)		
x Beam Energy (by Compton $\sigma_E < 50$ keV)	0.1% (out of resonances), 0.5% (at ω , φ -peaks)	0.2%	0.1%
x Bremsstrahlung loss	0.05 %		
x Pion specific loss	0.2% nuclear interaction		<0.1%
	0.2%(low) - 0.1% (ρ) pion decay		
	CMD-3 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- \pi^0$ ана...		
	0.8% (low) - 0.7% (ρ) - 1.6% (φ)		
	1.1% (low) - 0.9% (ρ) - 2.0% (φ) (RHO2013)		

Ключевые требуемые улучшения:

- Идентификация (разделение)
- Телесный угол
- Ядерные взаимодействия (вакуумная труба)

и параллельное развитие расчетов радиационных поправок...

Статистика КМД-3: ~0.08%, 7 месяцев

Как улучшить систематику (1)

Основной метод разделения – по импульсу:

- Независимое измерение e^+e^- , 2μ , 2π до 1 ГэВ
- π/μ : $\Delta p/p = 3.2\%$ (ω), 1.8% (φ) $\rightarrow$ разрешение $\Delta p/p = 0.8\%$ (φ)
- Детальное понимание функций отклика (pdf)
- Множество побочных измерений: 3π , космика, распады на лету, фоны,...

Второй метод – разделение по углам

- Ограничен статистикой, если не расширить угол регистрации

Разделение по энергосодержанию

- Не ясно, как улучшить относительно КМД-3

Черенковский счетчик? dE/dx ? TOF?

Параметры КМД-3

Достигнуто:

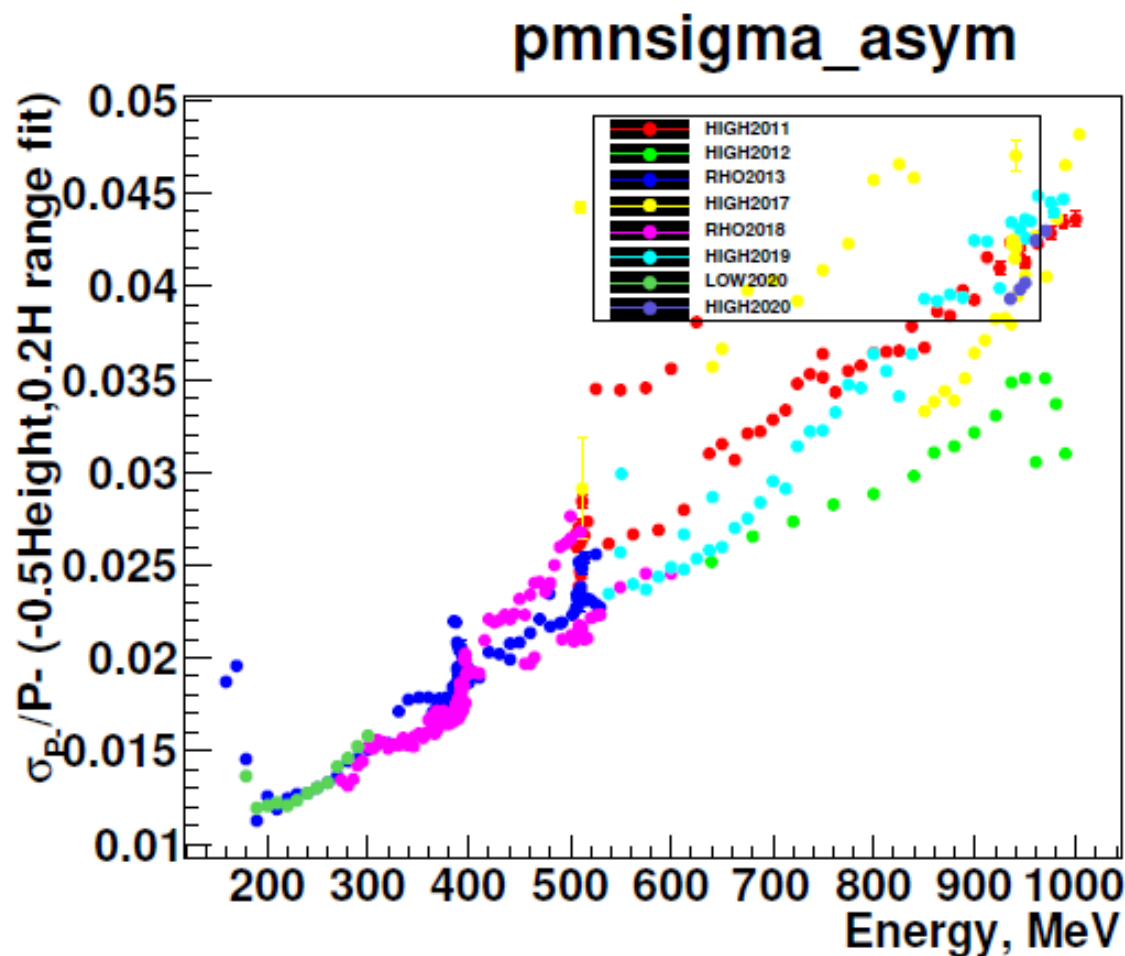
$$\frac{\Delta p}{p} \approx 1.5\% (\omega)$$

$$\frac{\Delta p}{p} \approx 2.0\% (\varphi)$$

Требуется:

$$\frac{\Delta p}{p} \approx 0.8\% (\varphi)$$

Улучшение в 2.5 раза!



Минимальное требование: улучшение разрешения ДК в 2 раза

Как улучшить систематику (2)

Измерение телесного угла

На внешнем радиусе

- Требуется систематическая точность **0.3 mrad** для 0.1% в L
- На радиусе 30 см: 100 мкм – точность Z-камеры

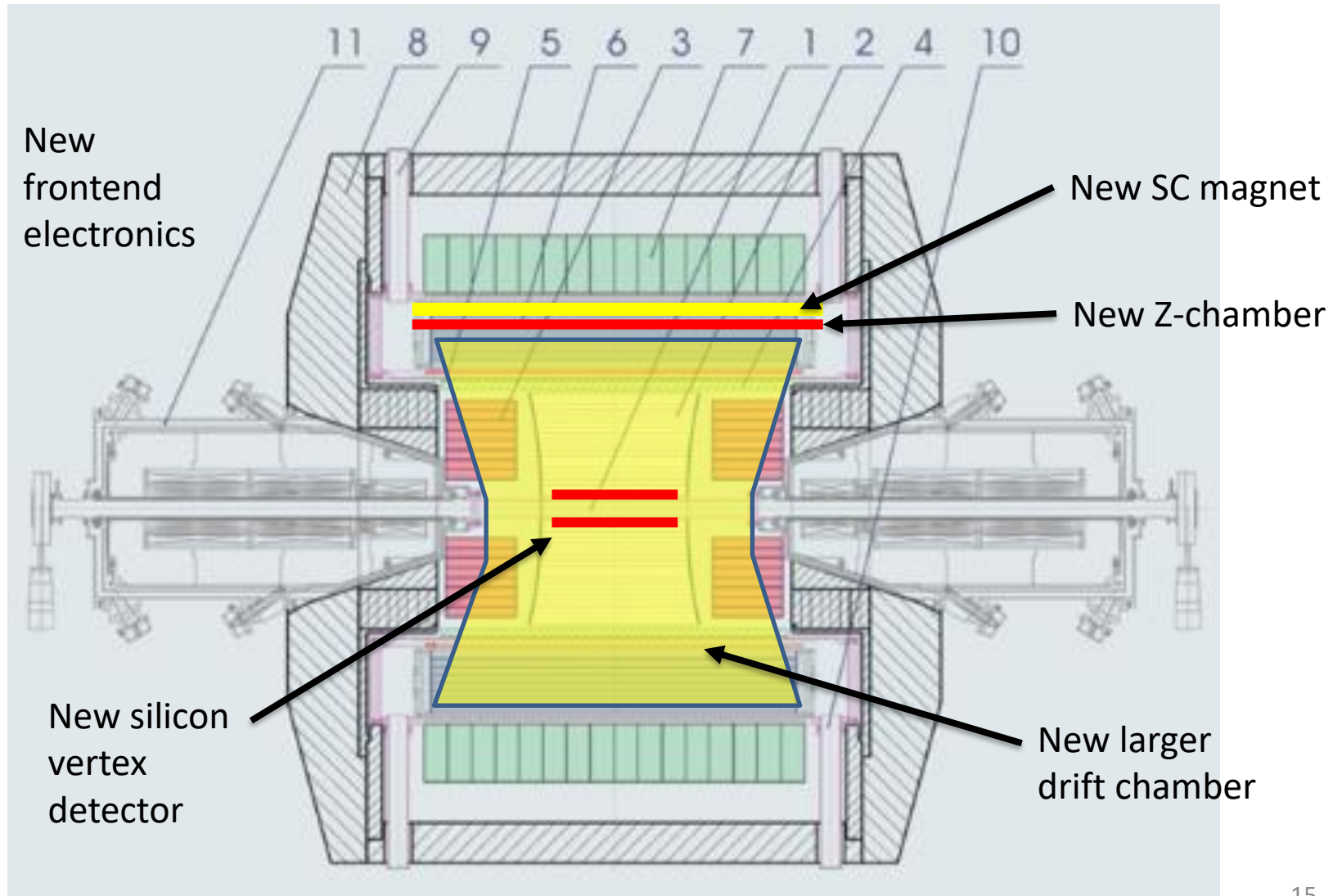
На внутреннем радиусе

- Прямое измерение (не подверженное наводкам и т.п.)
- Сравнимая точность O(100 мкм)

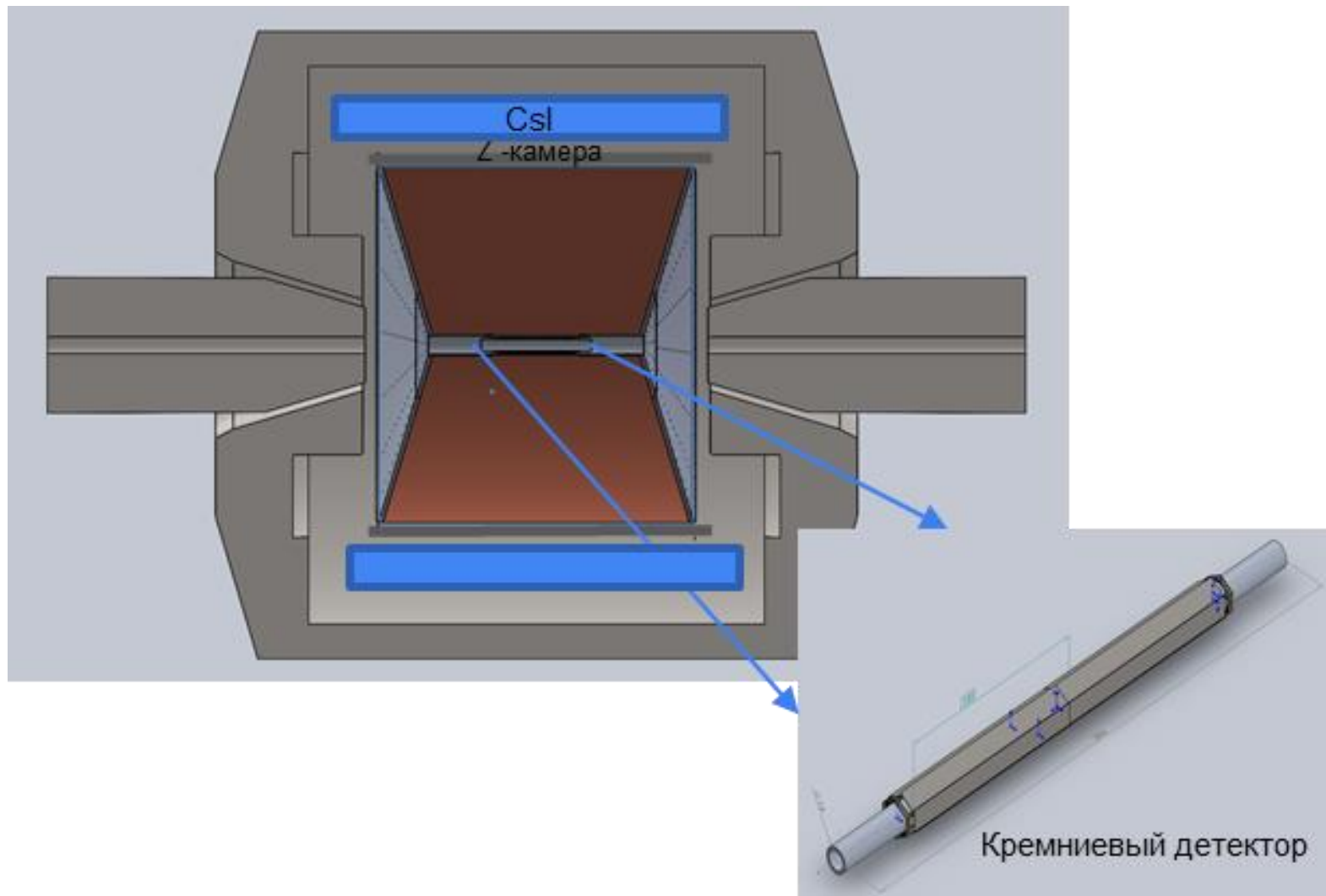
Ядерные взаимодействия пионов

- Точность ~5%
- Тонкая камера для уменьшения эффекта
- Возможность прямого измерения ядерного взаимодействия (тагирование пионов, возможность изменения толщины камеры (убираемые накладки) в определенном диапазоне по азимутальному углу)

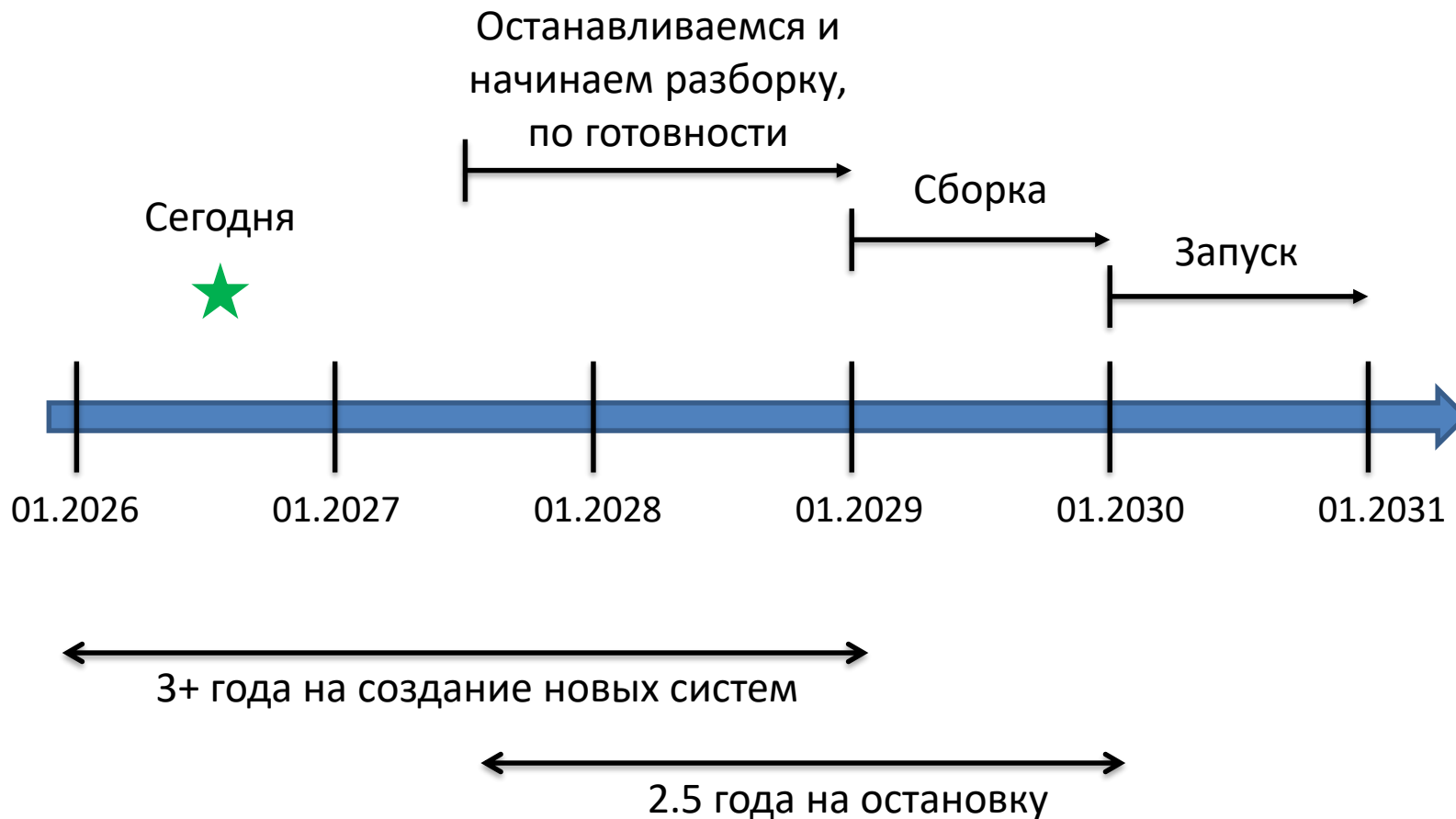
Концепция модернизации КМД-3



Концепция модернизации КМД-3



Предположительный оптимистичный план



ВЭПП-2000 и другие коллайдеры

