

ДЕТЕКТОР **SPD** НА КОЛЛАЙДЕРЕ NICA

Алексей Гуськов, ЛЯП, ОИЯИ

2.7.2021

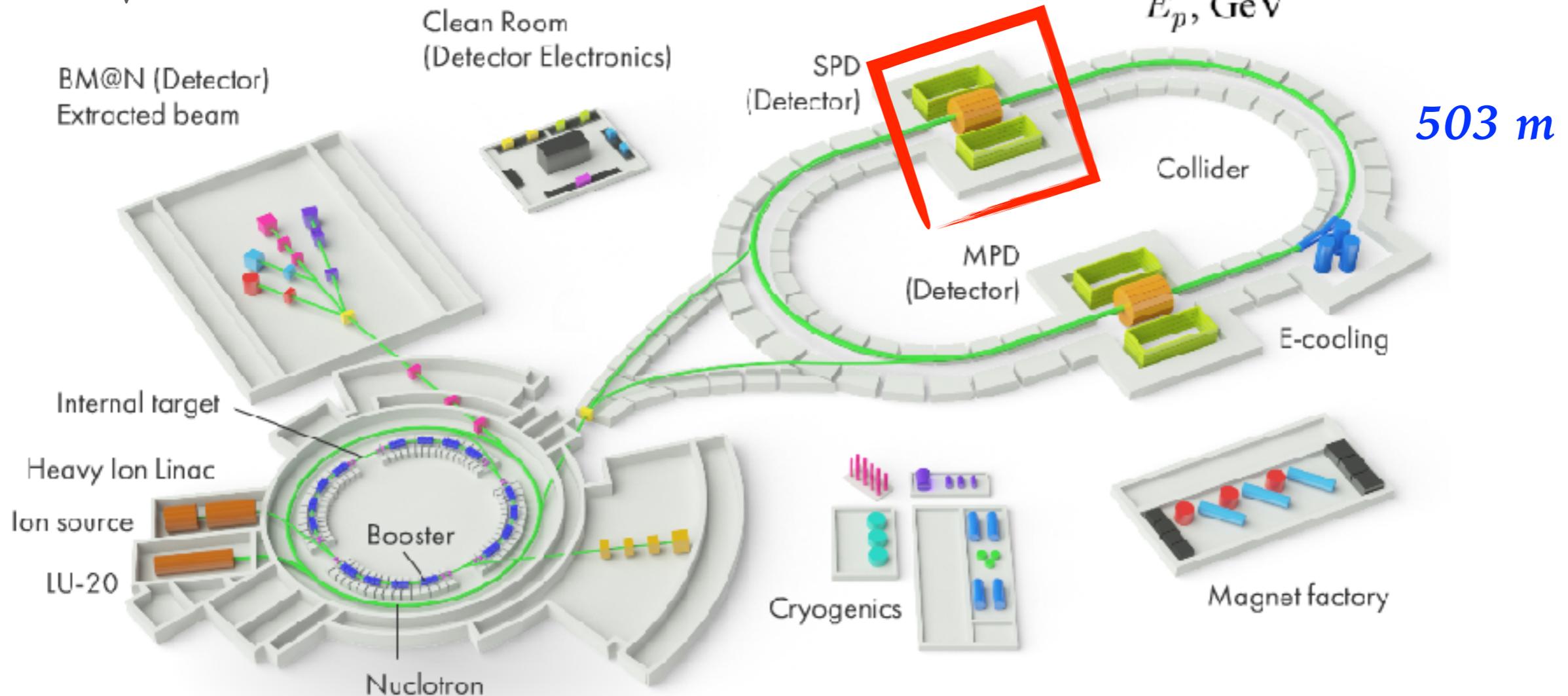
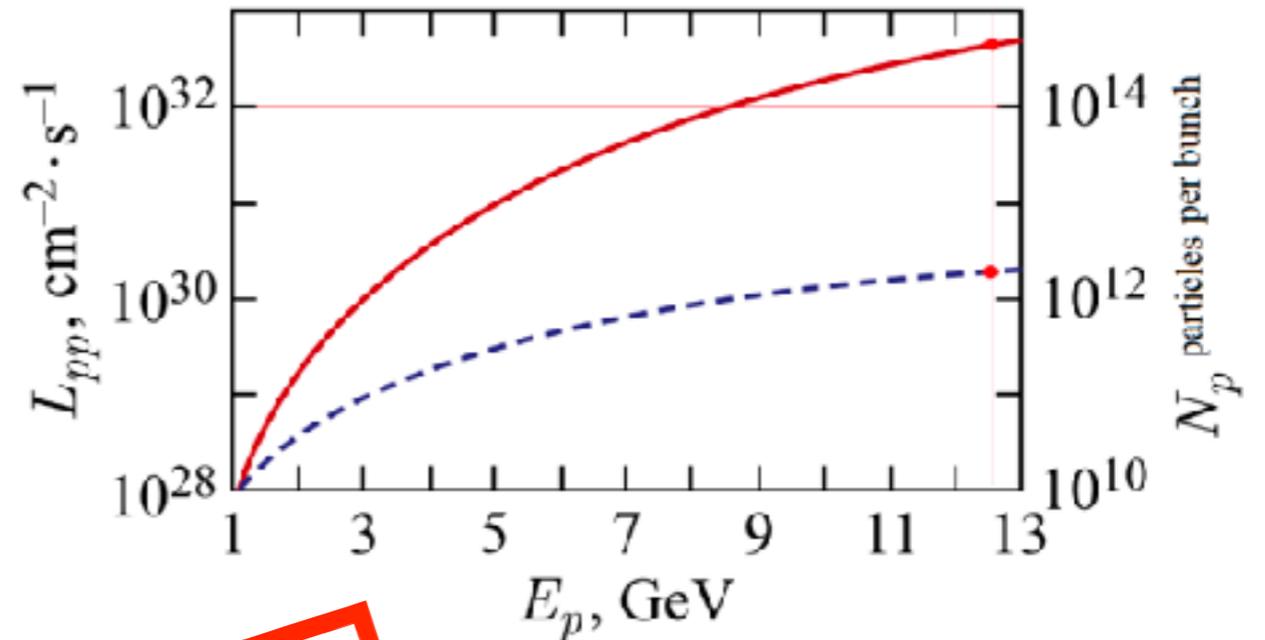
Spin Physic Detector @ NICA

NICA - Nuclotron-based Ion Collider fAcility

$$p^\uparrow p^\uparrow : \sqrt{s} \leq 27 \text{ GeV}$$

$$d^\uparrow d^\uparrow : \sqrt{s} \leq 13.5 \text{ GeV} \quad U, L, T$$

$$d^\uparrow p^\uparrow : \sqrt{s} \leq 19 \text{ GeV} \quad |P| > 70\%$$

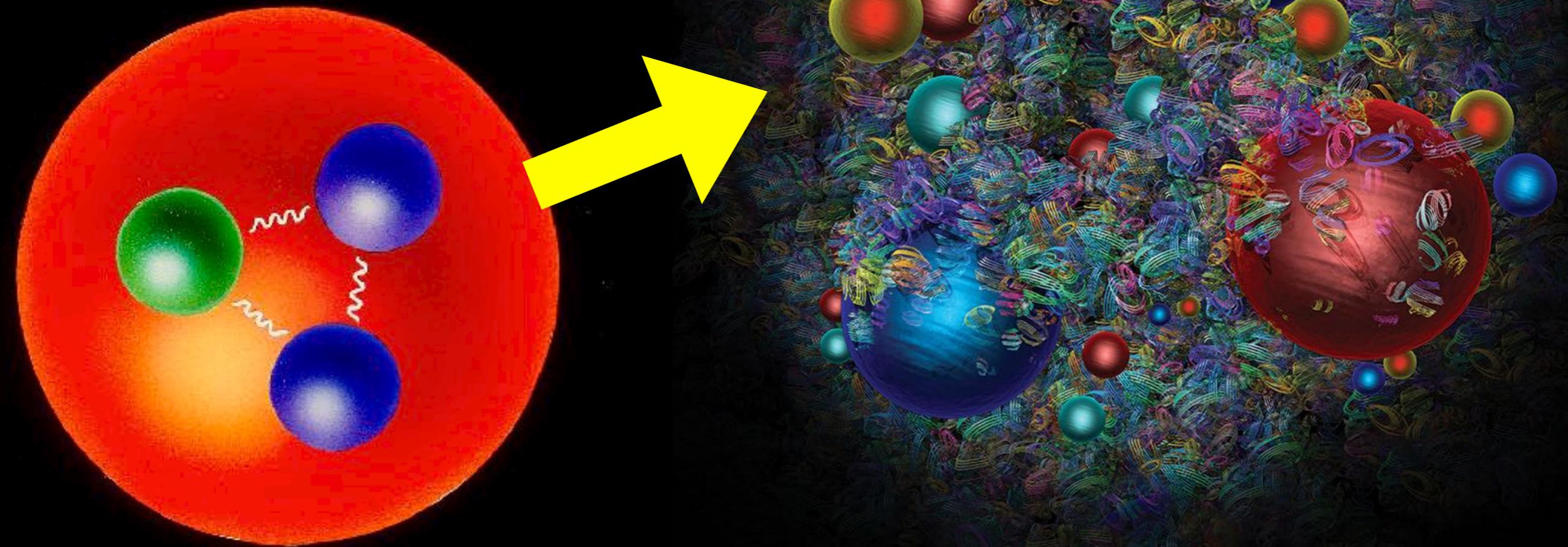


Концепция физической программы **SPD**



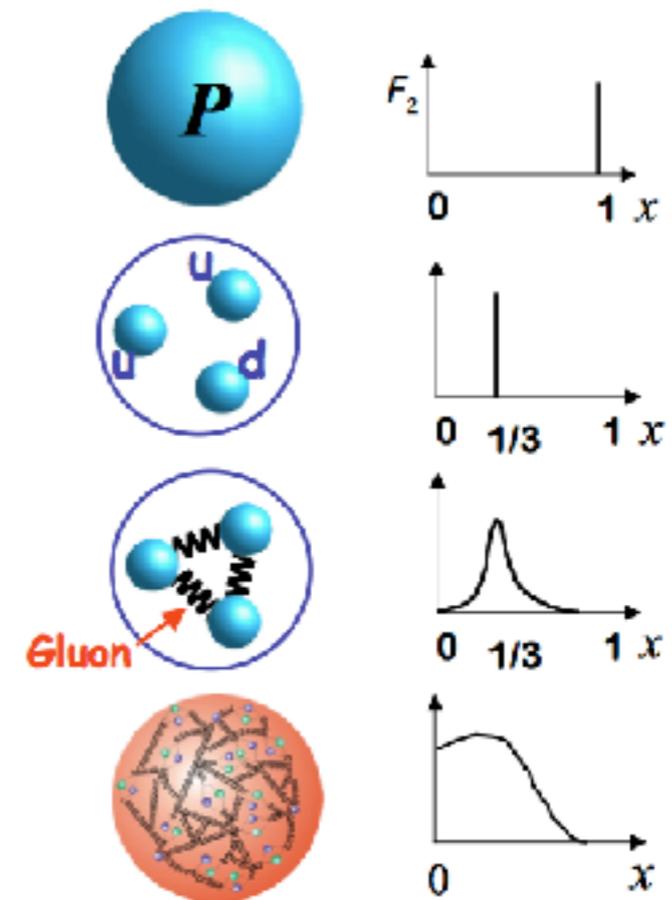
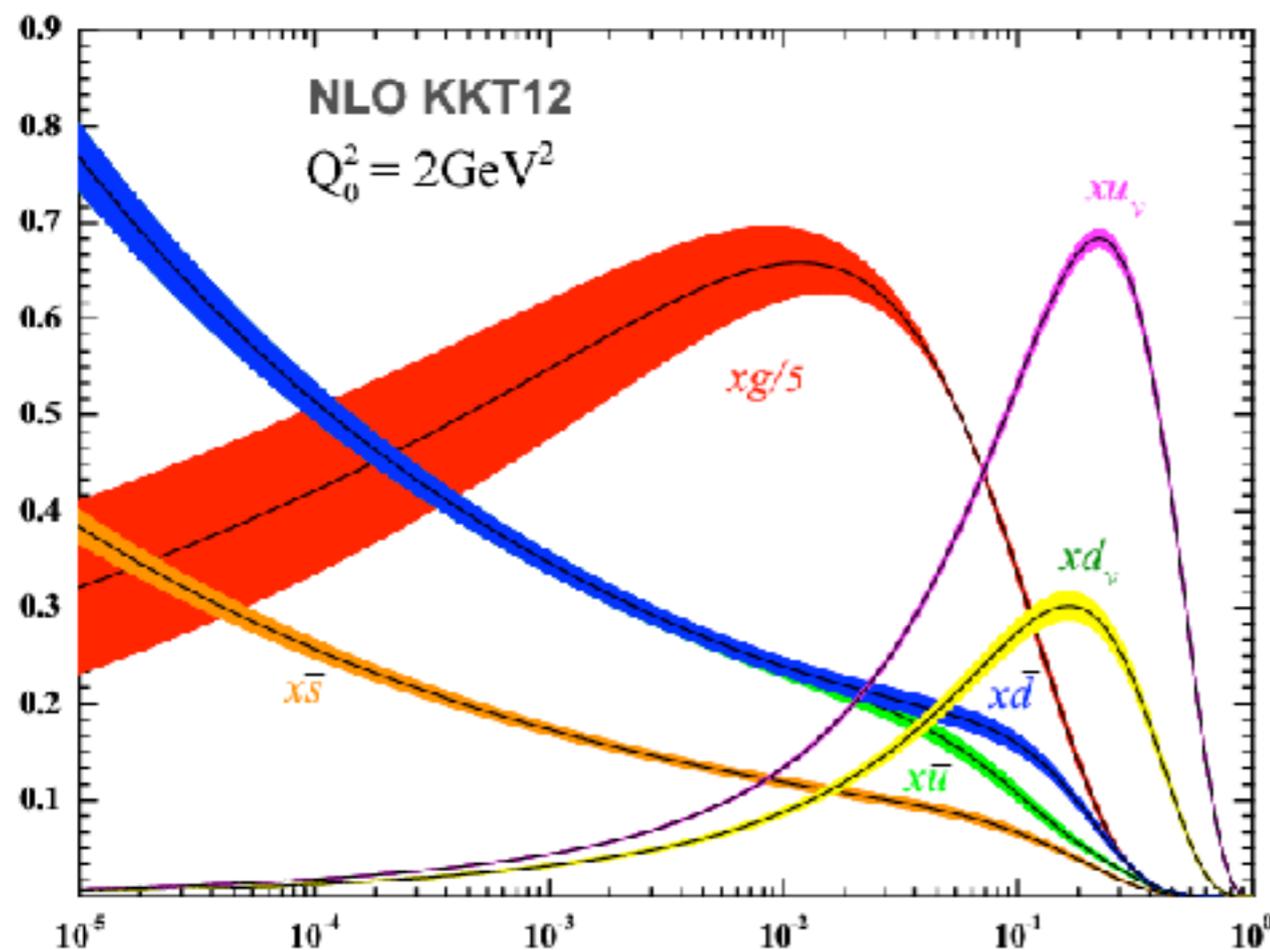
Кварк-партонная модель

*Адрон состоит из
валентных и морских
кварков, а также глюонов*



Партонные распределения

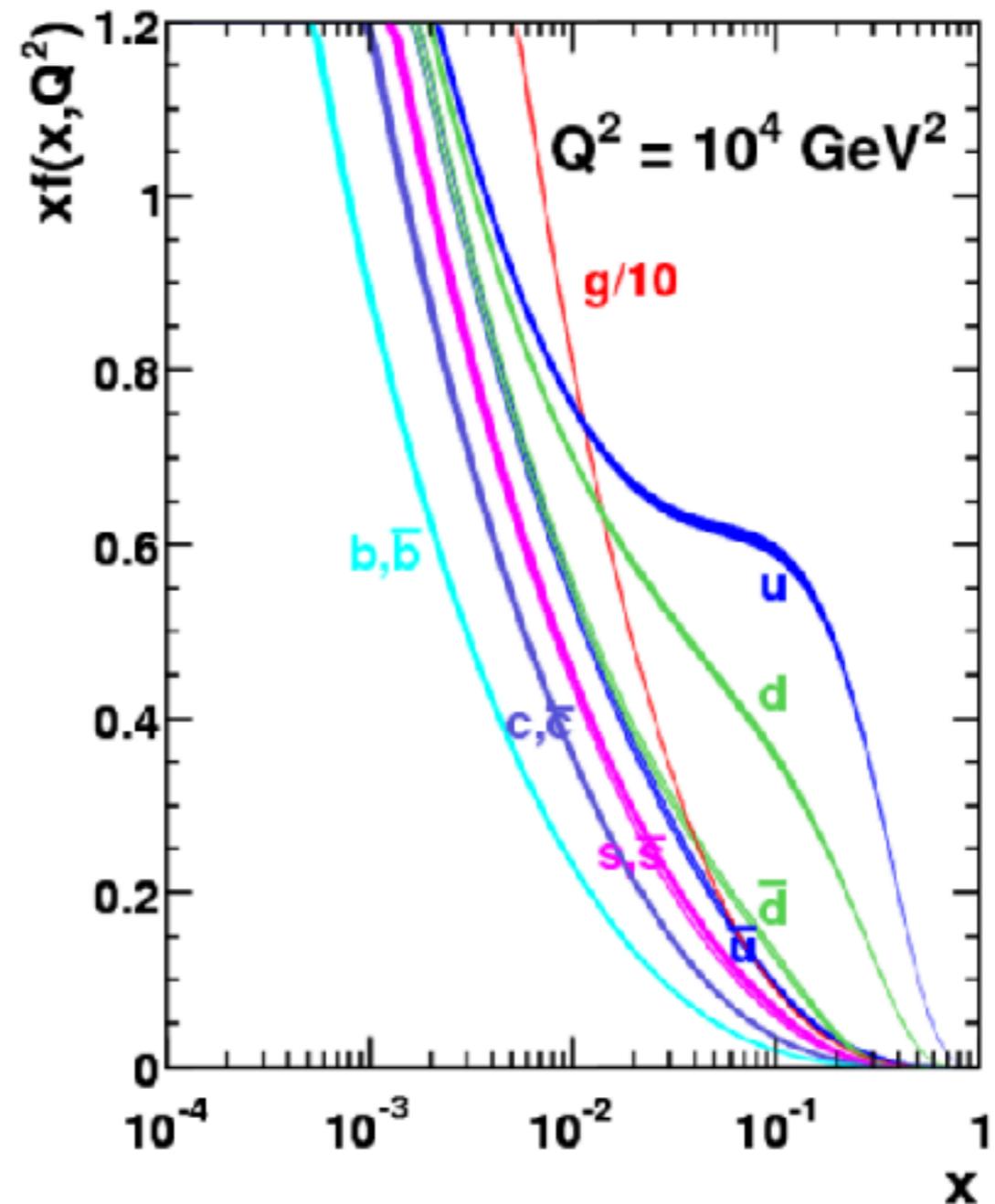
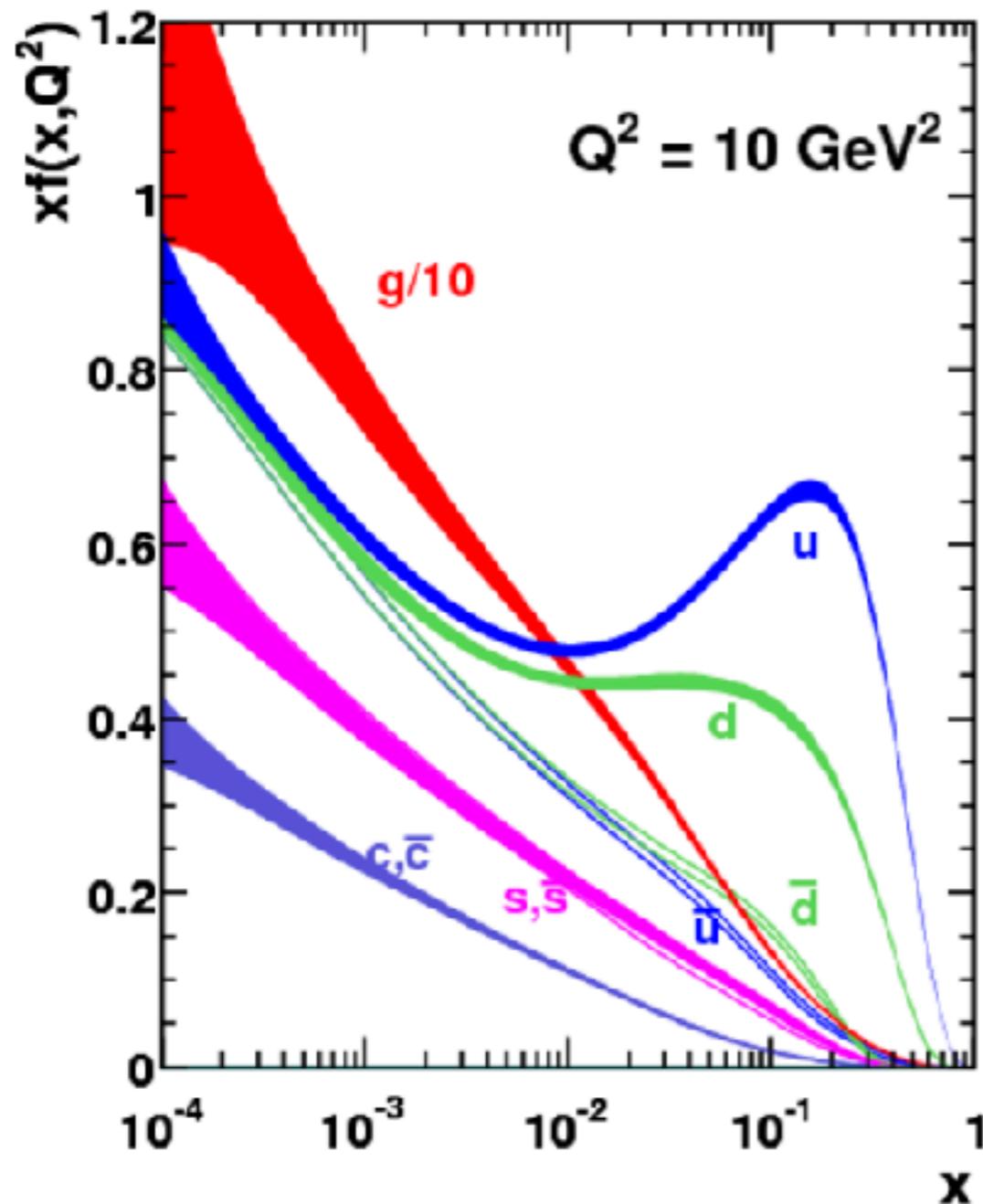
Функции партонных распределений (PDF) $f(x, Q^2)$ определяют **вероятность** найти в нуклоне партон, несущий долю импульса x .



Универсальны, т. е. не зависят от процесса и являются фундаментальными свойствами нуклона как масса, заряд, магнитный момент и т. д.

Не выводятся в КХД из первых принципов - только эксперимент !

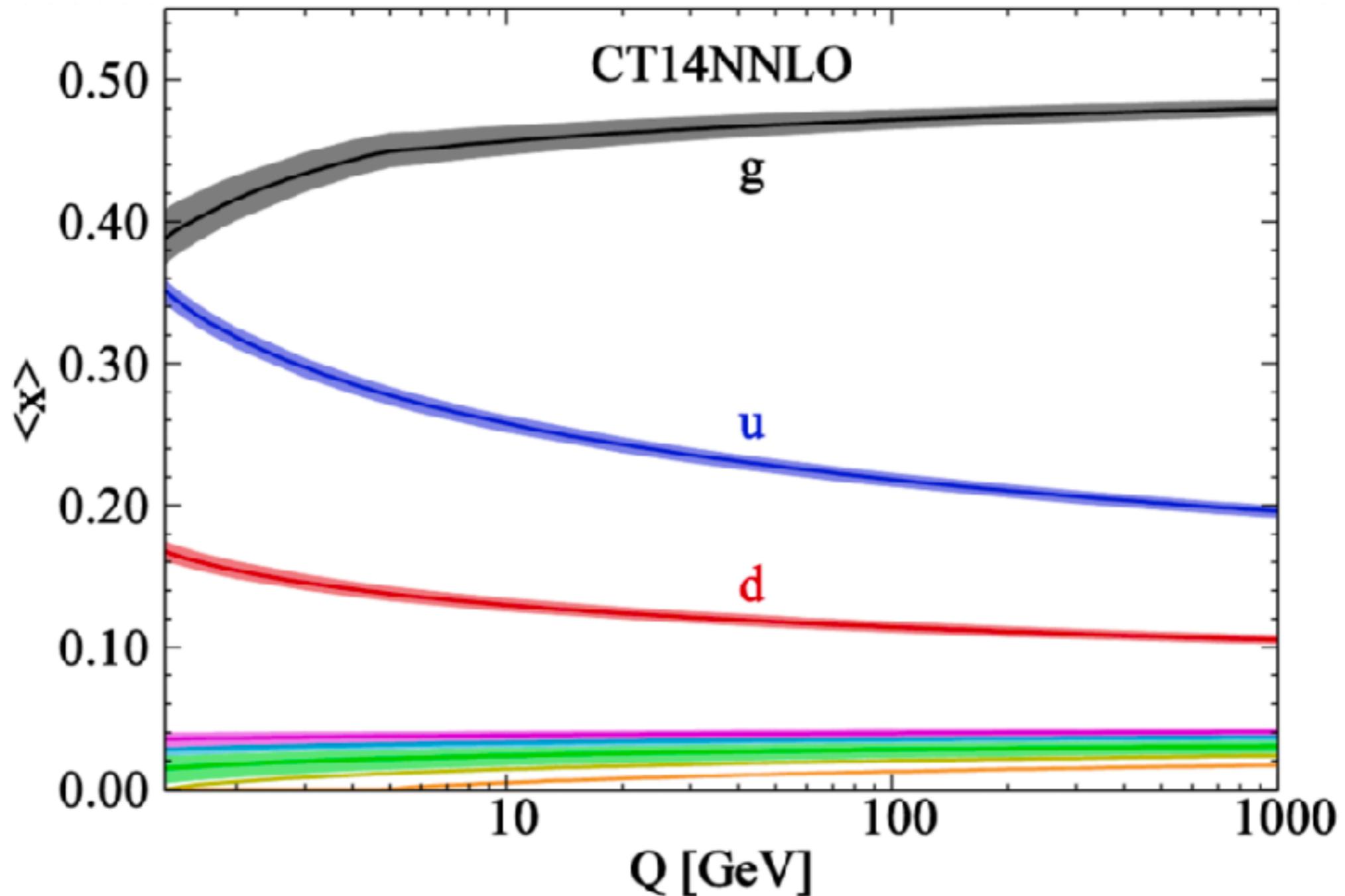
Партонные распределения



С ростом Q^2 растёт роль морских кварков!

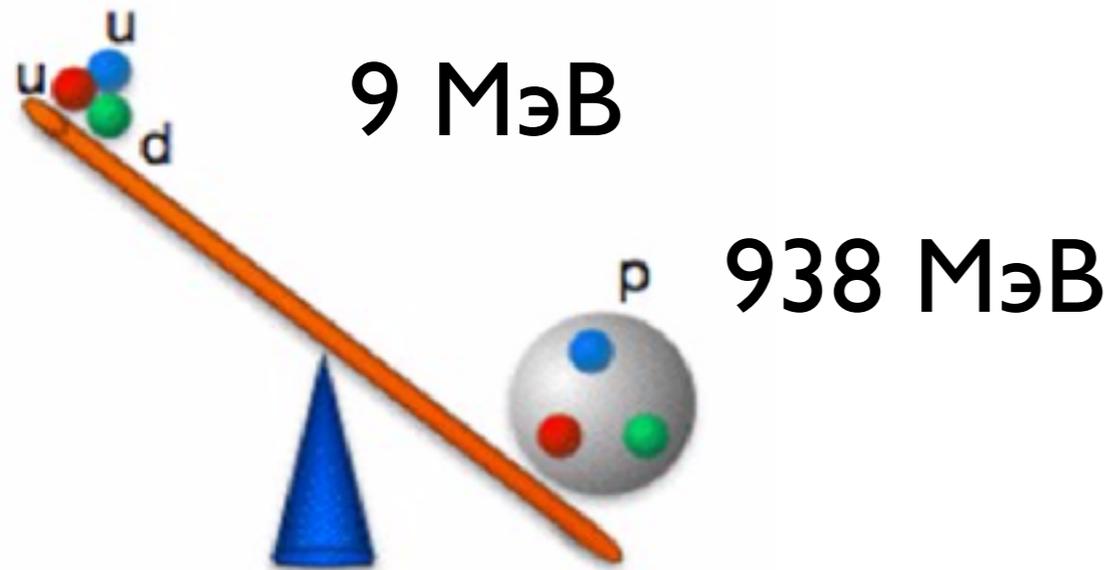
Уравнения эволюции: $f(x, Q_1^2) \rightarrow f(x, Q_2^2)$

Импульс протона



Глюоны определяют свойства протона в большей степени, чем это кажется на первый взгляд!

Масса протона

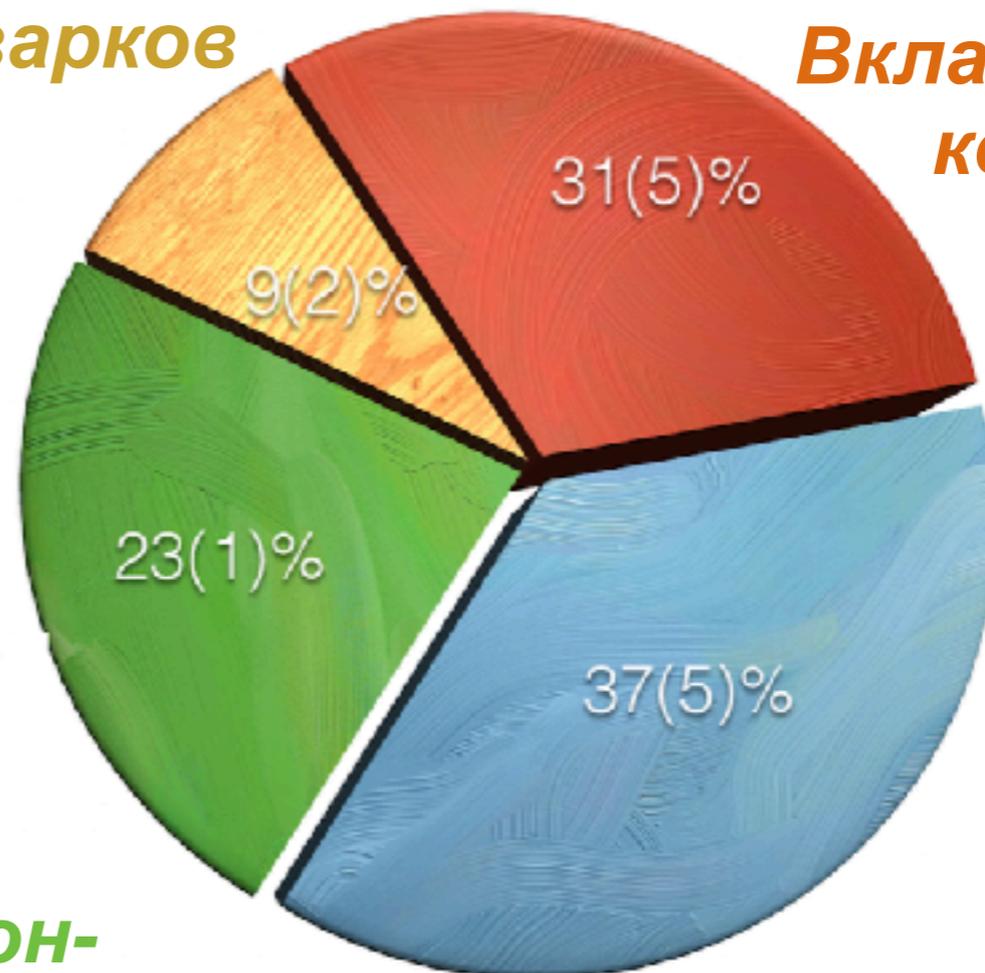


**Механизм Хиггса
практически не причастен
к формированию массы
протона!**

Вклад массы кварков

*Вклад энергии
кварков*

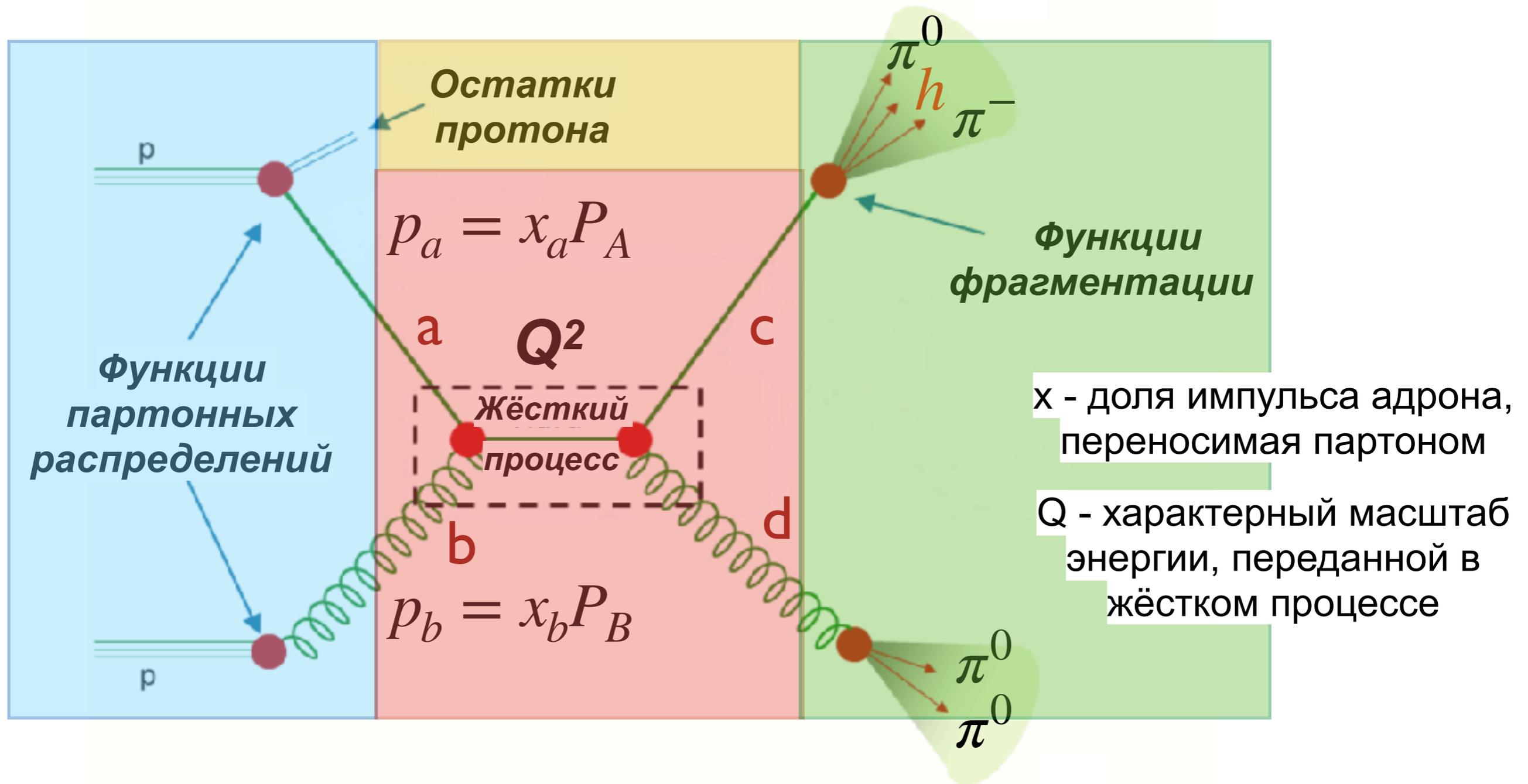
Модельно-зависимая
декомпозиция массы протона



*Вклад кварк- и глюон-
глюонного взаимодействия*

Вклад энергии глюонов

Теорема о факторизации

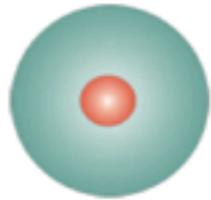


$$\sigma_{AB \rightarrow hX} = \sum_{a,b=q,\bar{q},g} \int dx_a dx_b f(x_a, Q^2) f(x_b, Q^2) \times \hat{\sigma}_{ab \rightarrow cd}(x_a, x_b, Q^2) \times D_{cd \rightarrow h}$$

$Q^2 \gg 1 \text{ GeV}^2/c^2$

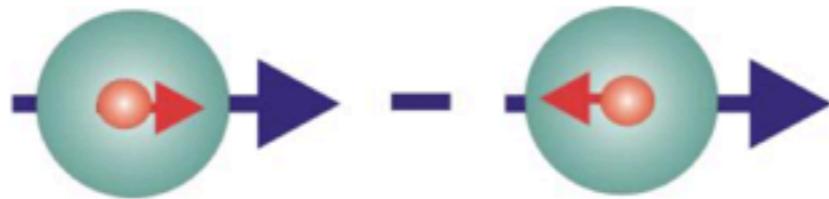
Поляризованный протон

$q(x)$



**Неполяризованное
распределение**

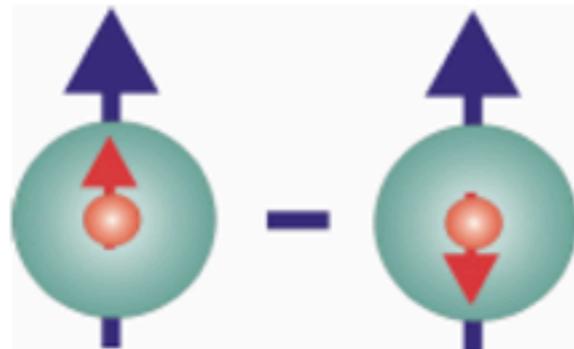
$\Delta q(x)$



Helicity

$$A_{LL} = \frac{\sigma^{++} - \sigma^{+-}}{\sigma^{++} + \sigma^{+-}} \sim \Delta q$$

$\Delta_T q(x)$

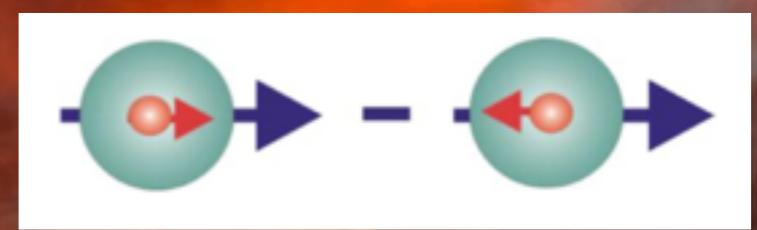


Transversity

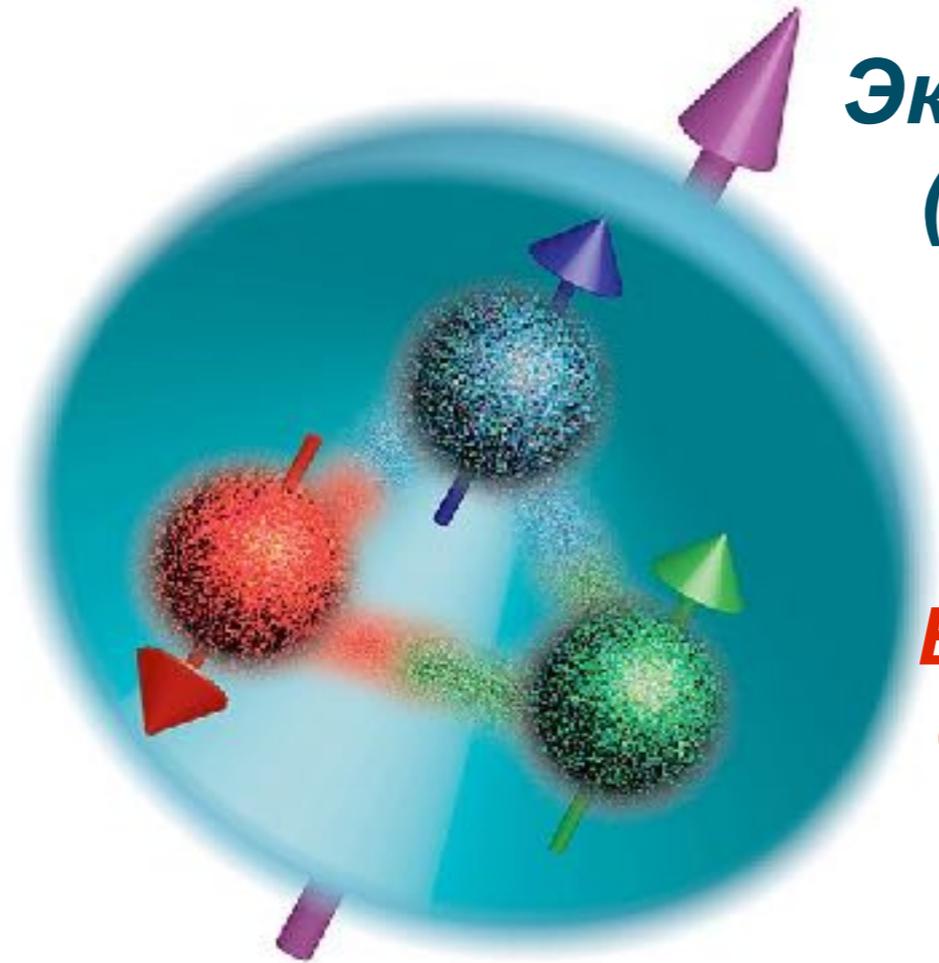
$$A_{TT} \sim \Delta_T q(x)$$



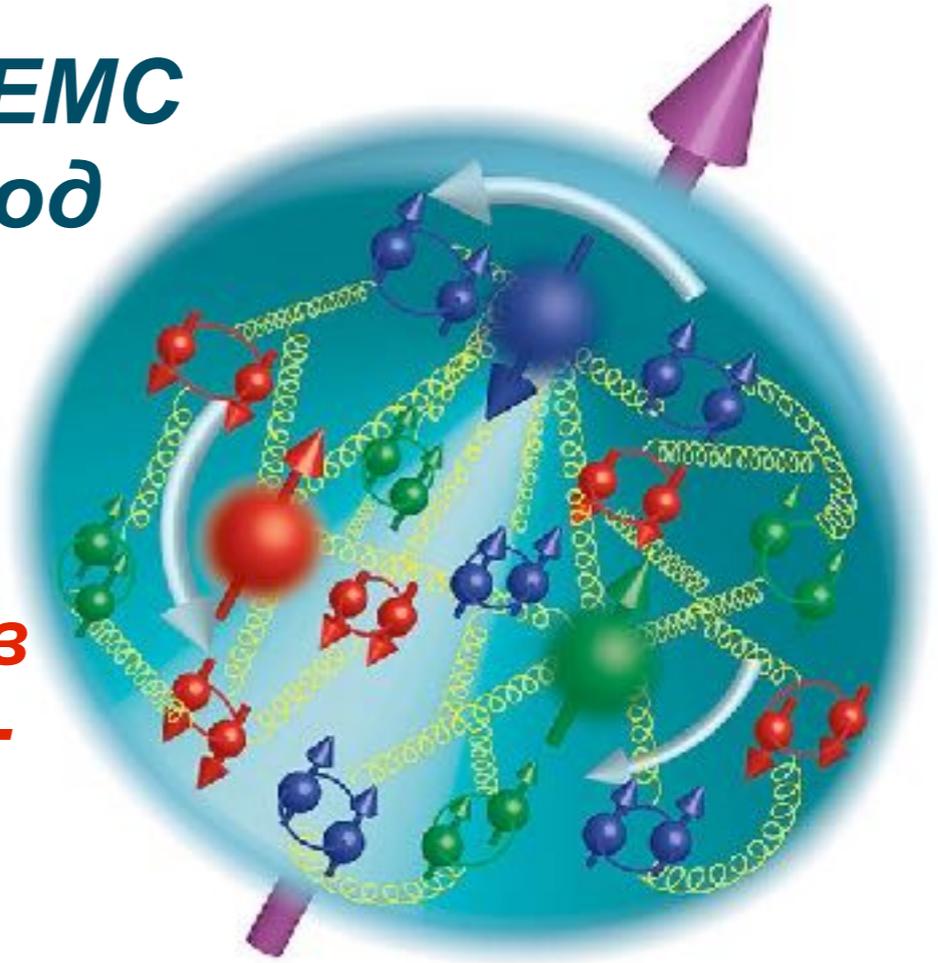
Спиновый кризис



Эксперимент EMC
(ЦЕРН) 1988 год



Вклад кварков в
спин протона -
не более 30% !



Наивная кварковая
модель

Реальная
ситуация

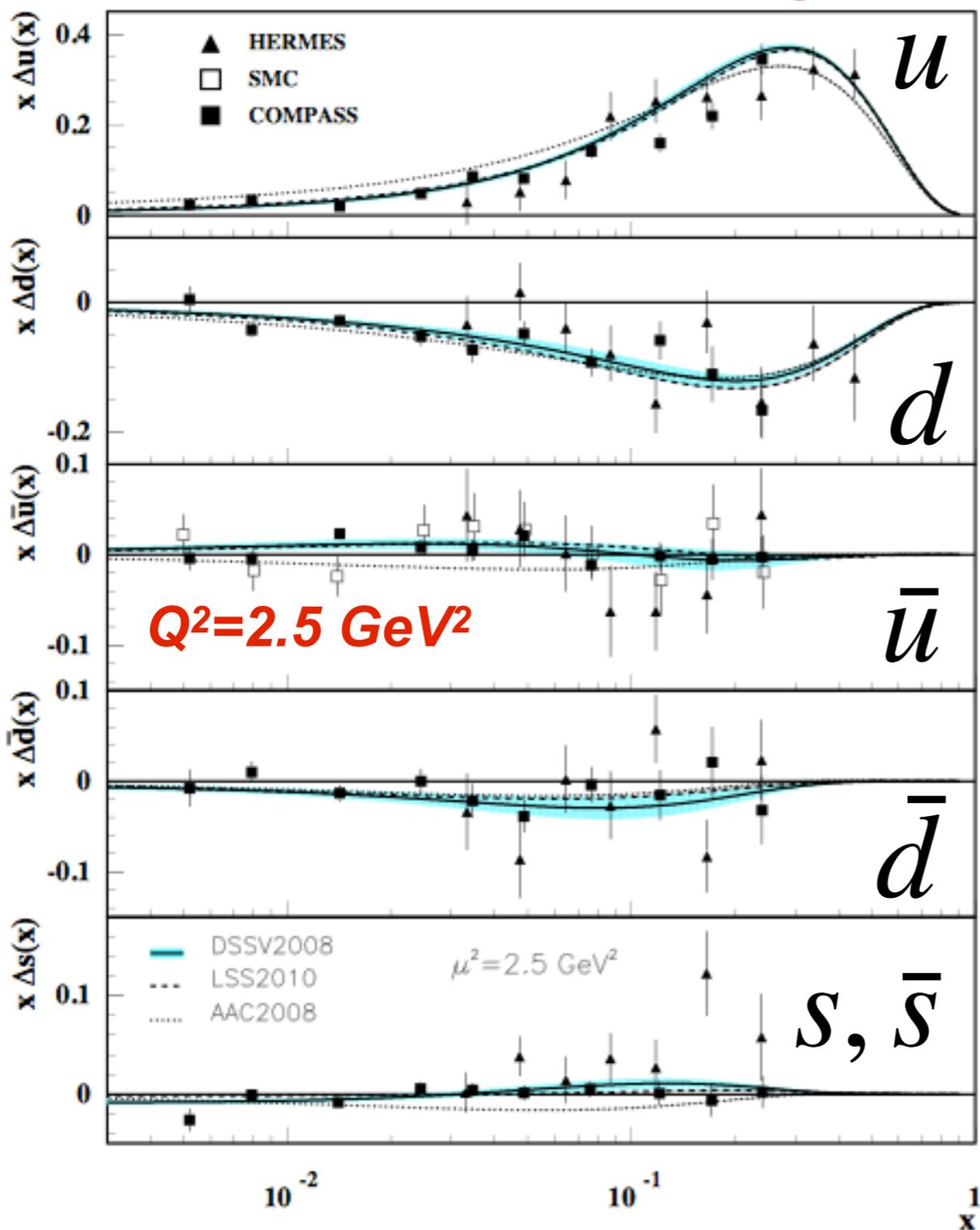
$$\frac{1}{2} = \sum_{q=u, \bar{u}, d} \left(\frac{1}{2} \right)$$

L - орбитальные моменты
кварков и глюонов

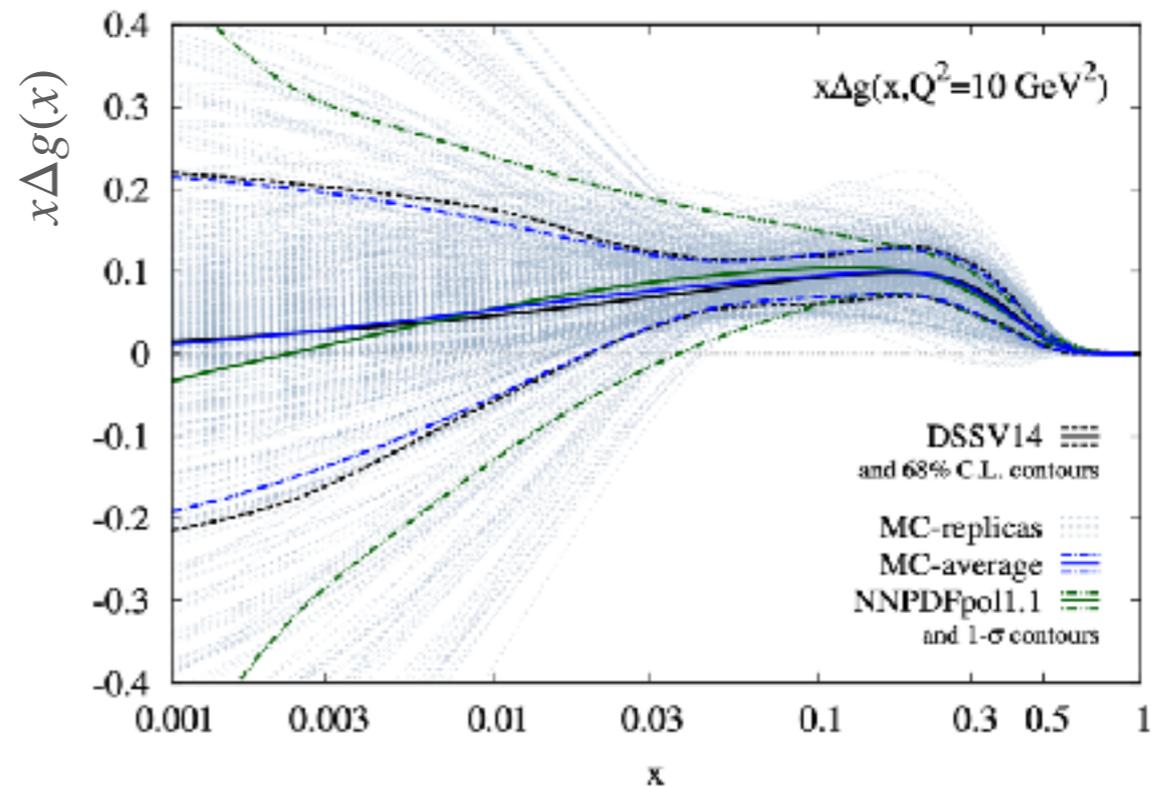
$$S_N = 1/2 = 1/2 \Delta\Sigma + \Delta G + L$$

Спиновый кризис

Продольная поляризация
каждого из типов кварков:



... и глюонов:



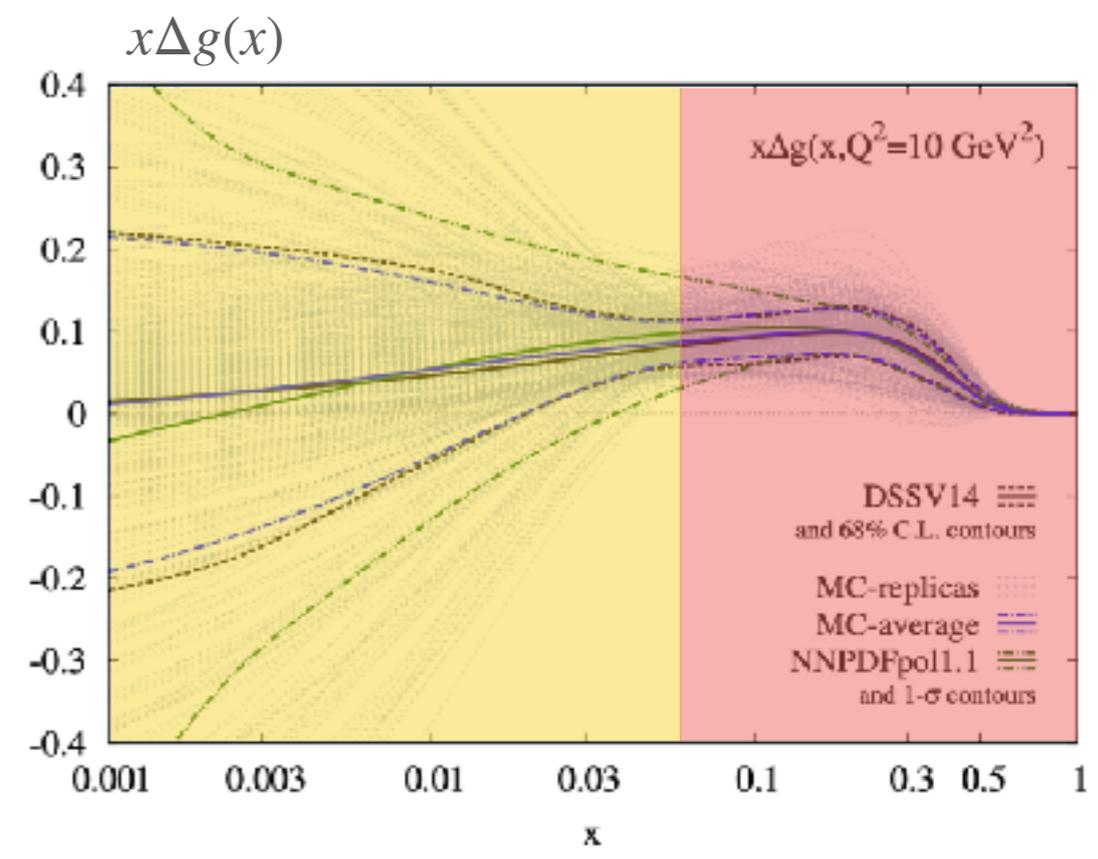
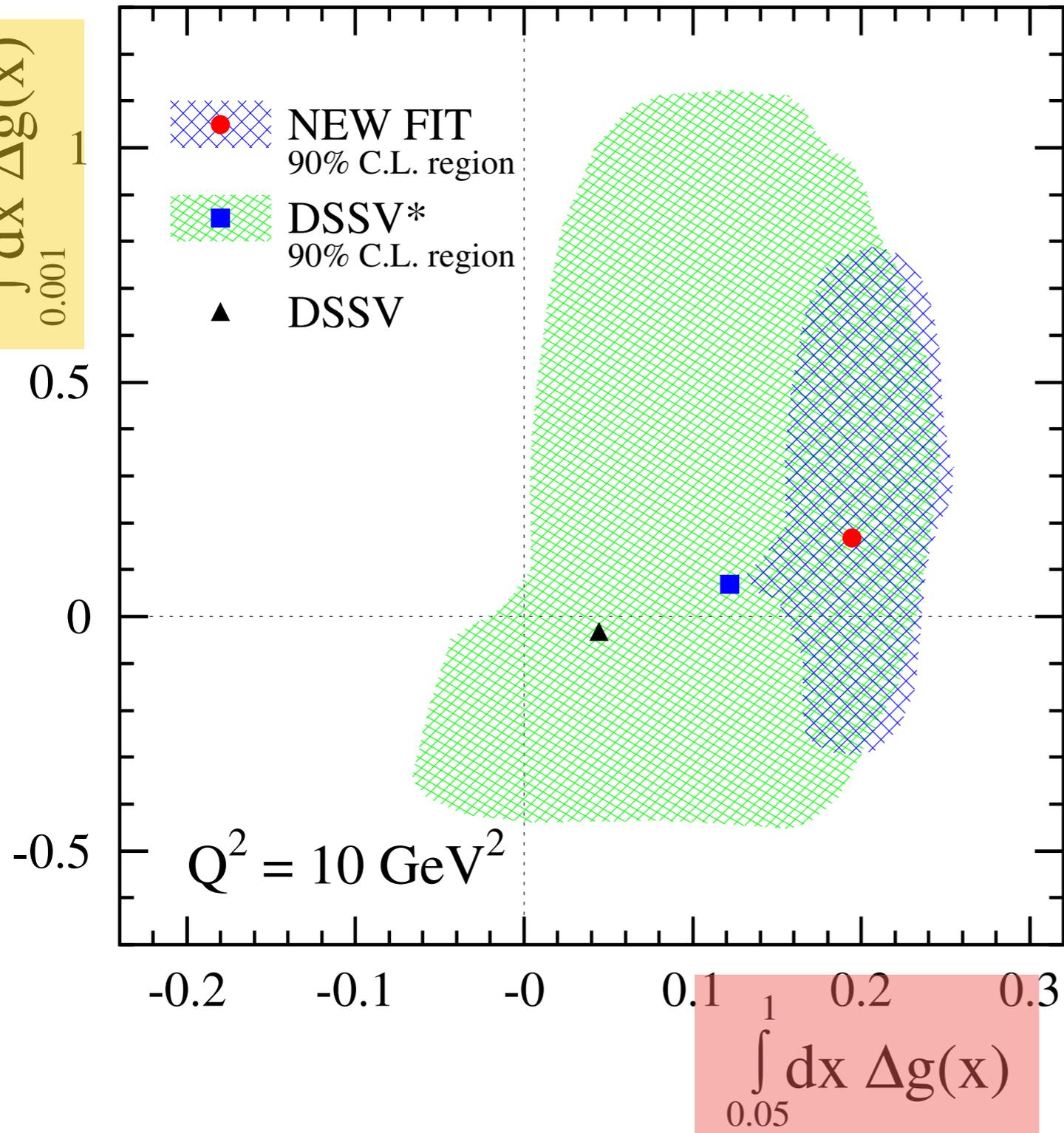
$$S_N = 1/2 = 1/2 \Delta\Sigma + \Delta G + L$$

~30%

~ ?

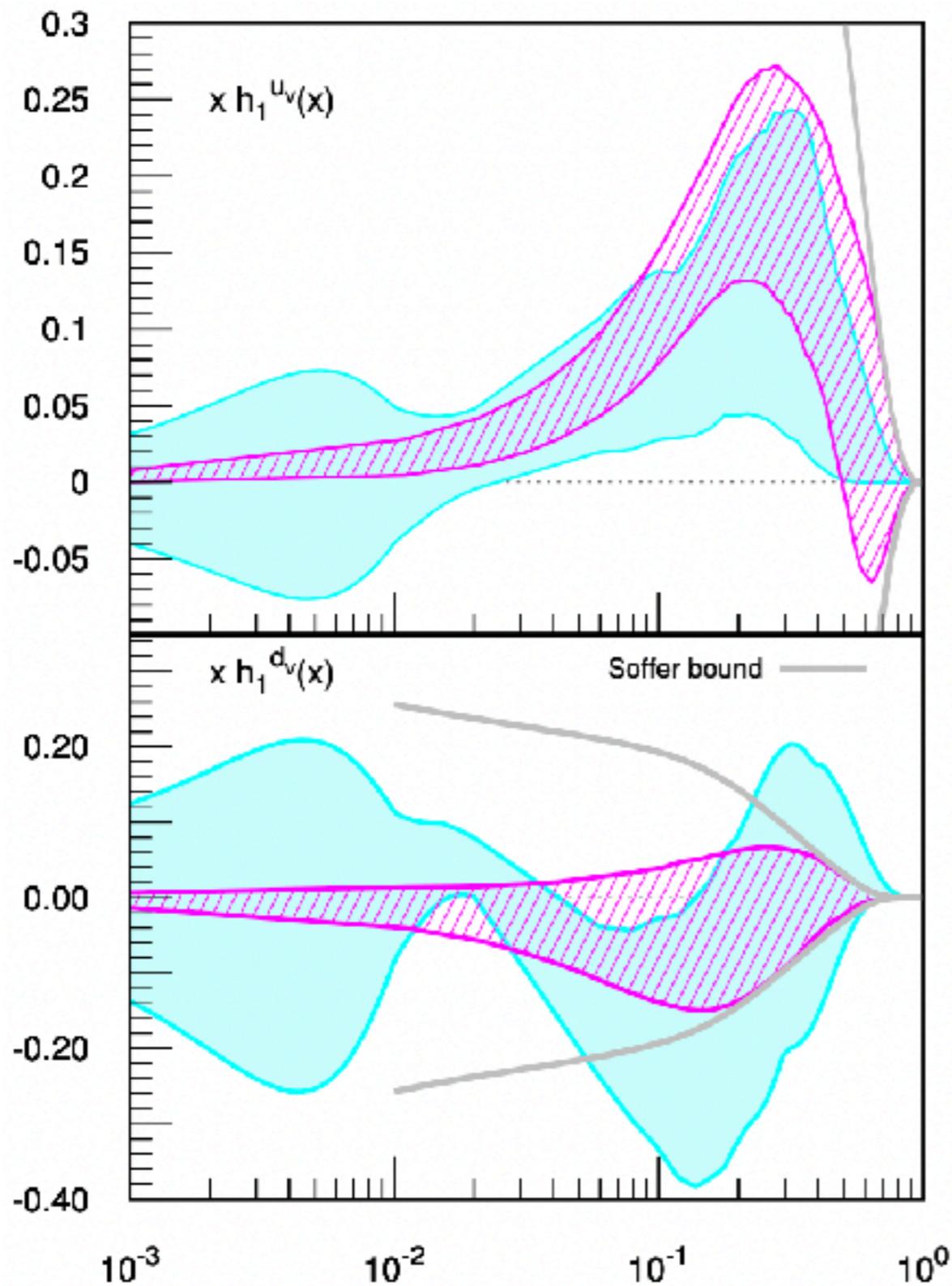
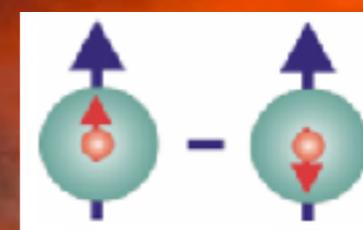
Поляризация глюонов

$$\int_{0.001}^{0.05} dx \Delta g(x)$$

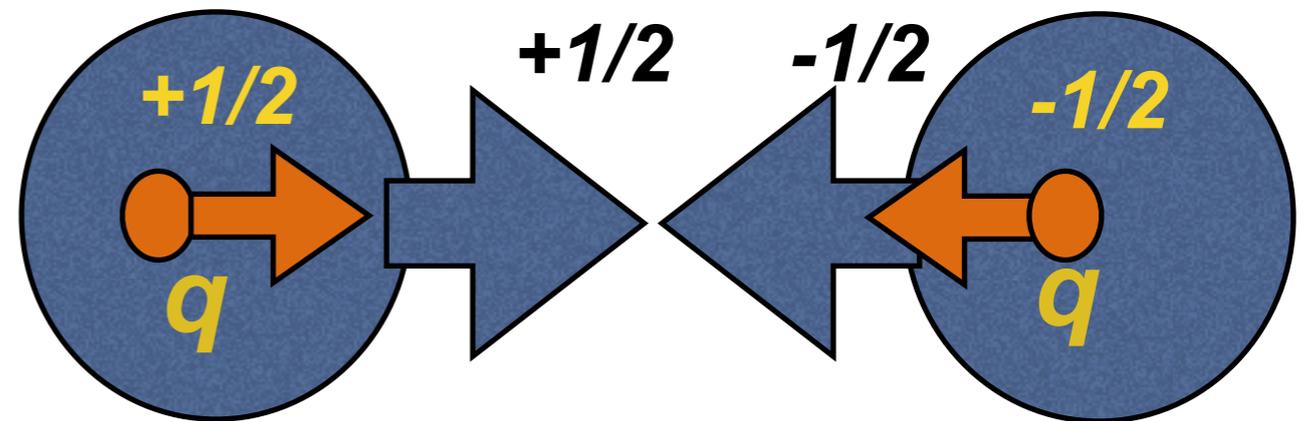


Ждём от SPD новых данных как в области больших, так и малых x

Transversity



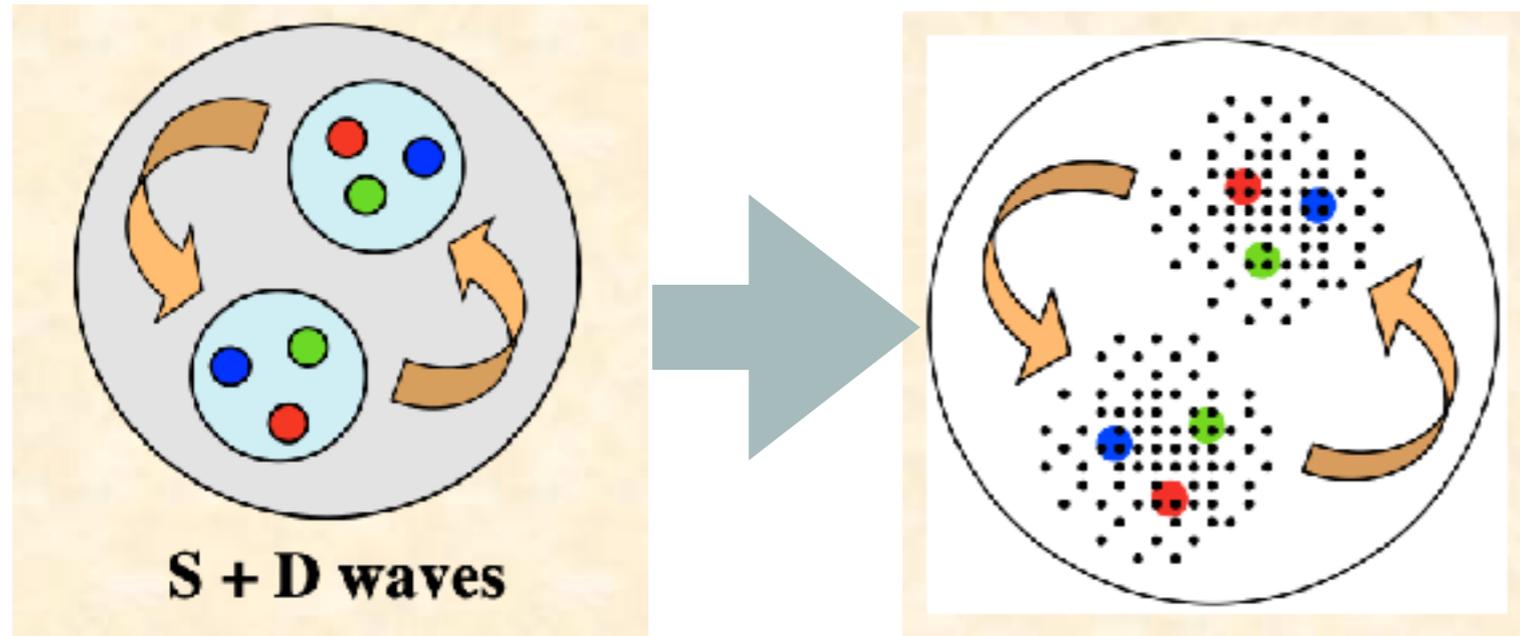
$$A_{TT} \sim \Delta_T q(x)$$



Transversity PDF не имеет смысла для глюонов в нуклоне со спином (спин 1/2)!

А если спин частицы > 1/2 ?

Дейтрон



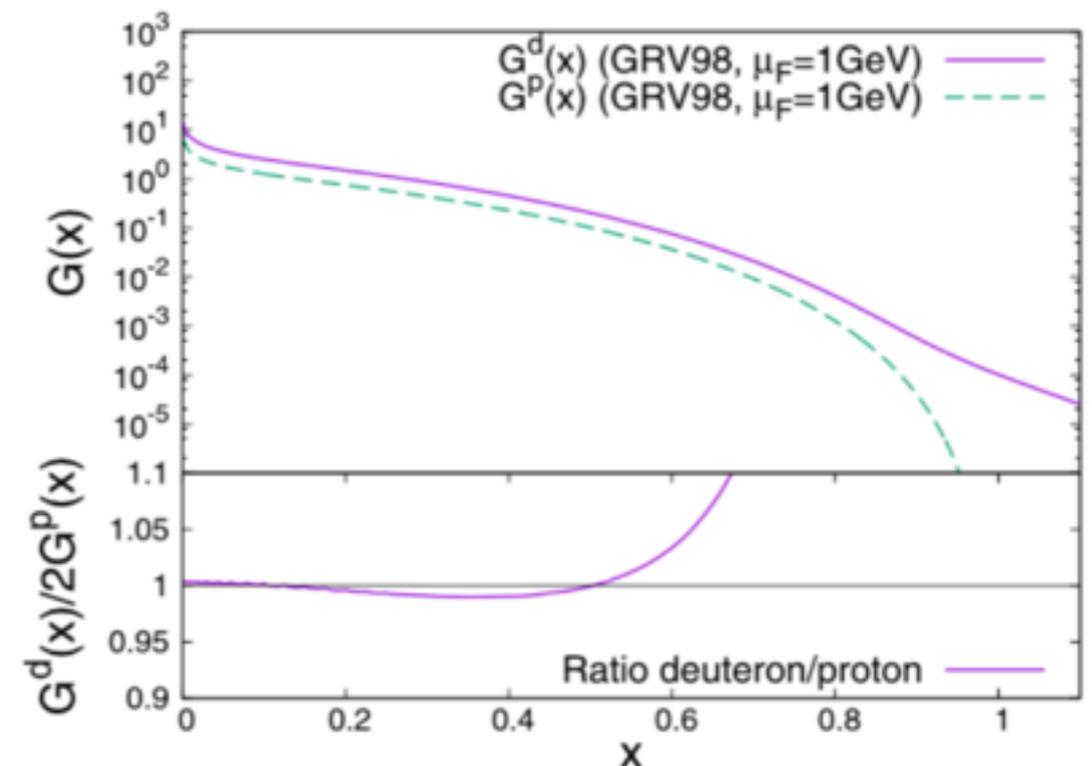
Дейтрон всегда служил референсом для изучения EMC-эффекта. Но и в нём самом ядерные эффекты присутствуют!

Дейтрон - это не есть просто связанное состояние протона и нейтрона!

$$|6q\rangle = c_1 |NN\rangle + c_2 |\Delta\Delta\rangle + \boxed{c_3 |CC\rangle}$$

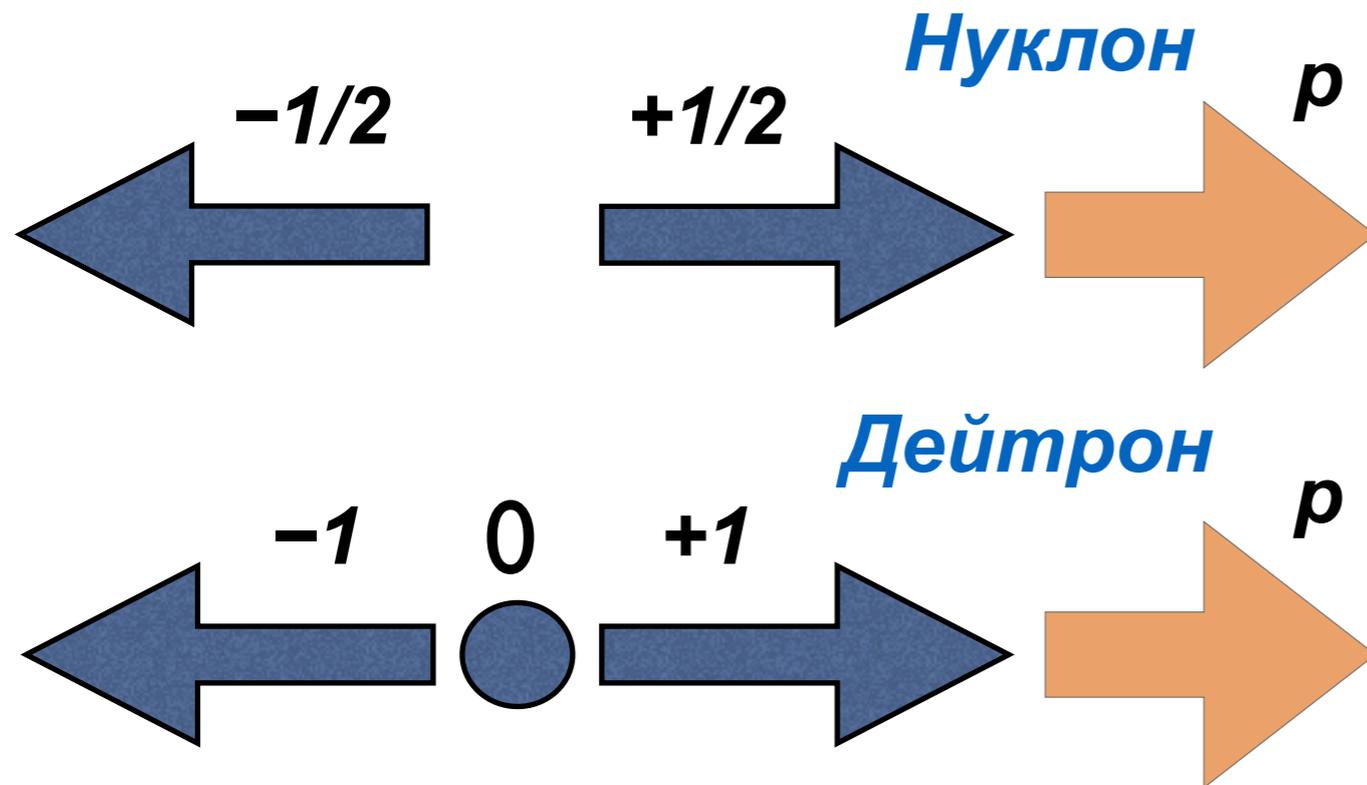
скрытый цвет

- небарионная компонента, доля которой в некоторых моделях достигает 90%



Больше глюонов с большим значением x

Дейтрон и спин



Векторная поляризация

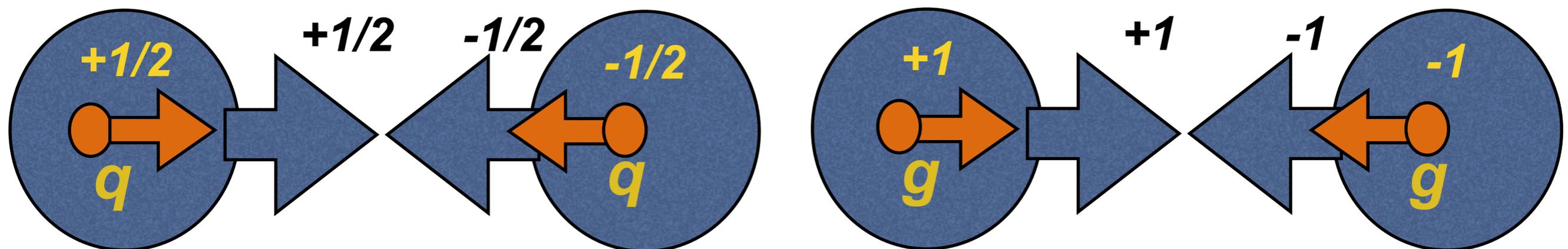
$$\frac{N_{1/2} - N_{-1/2}}{N_{1/2} + N_{-1/2}}$$

Тензорная поляризация

$$\frac{2N_0 - (N_{-1} + N_1)}{2N_0 + N_{1/2} + N_{-1/2}}$$

Новые “тензорные” PDF

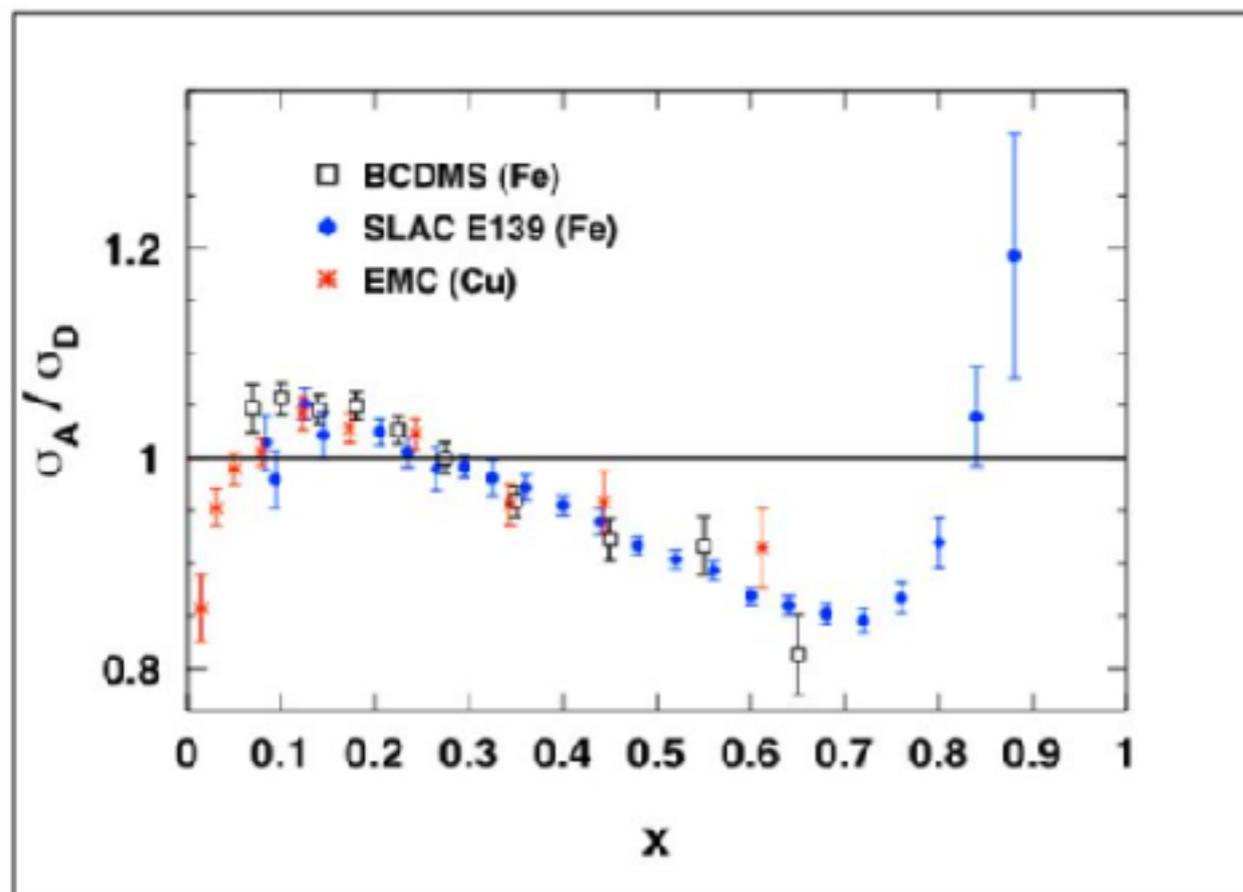
Качественно новые возможности для глюонов:



**Но жёсткий процесс с
переворотом спина глюона в
нуклоне невозможен!**

А в дейтроне возможен!

EMC-эффект



**Впервые наблюдался
коллаборацией EMC в
1982 году**

**Нуклон “знает” в
каком ядре он
находится!**

Обмен парой “кварк-антикварк”

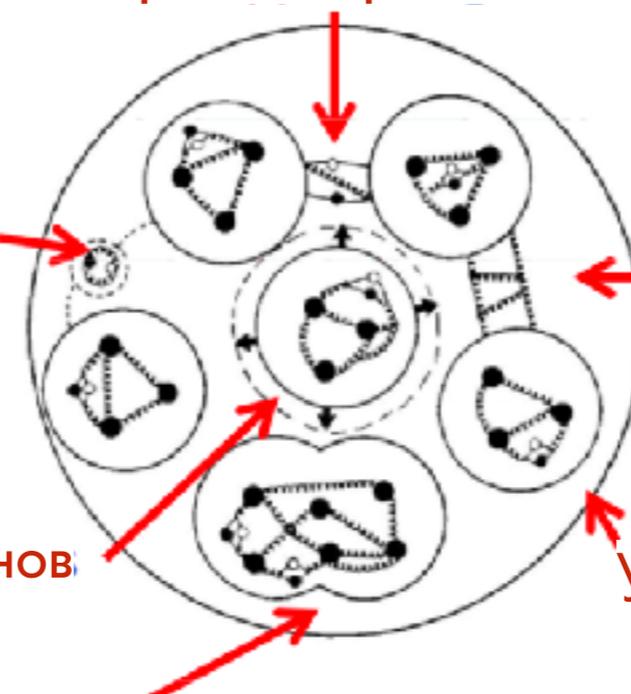
Пионный обмен

Глюонный обмен

Раздувание нуклонов

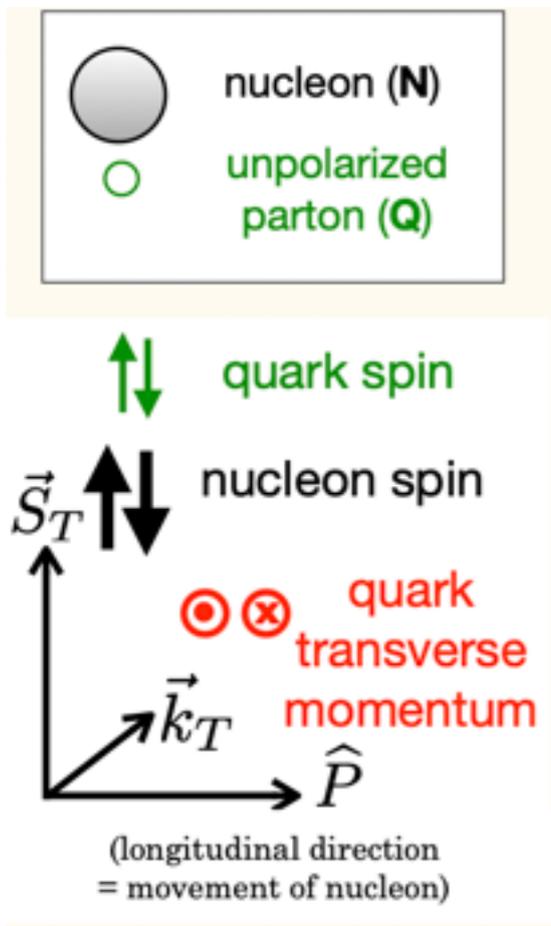
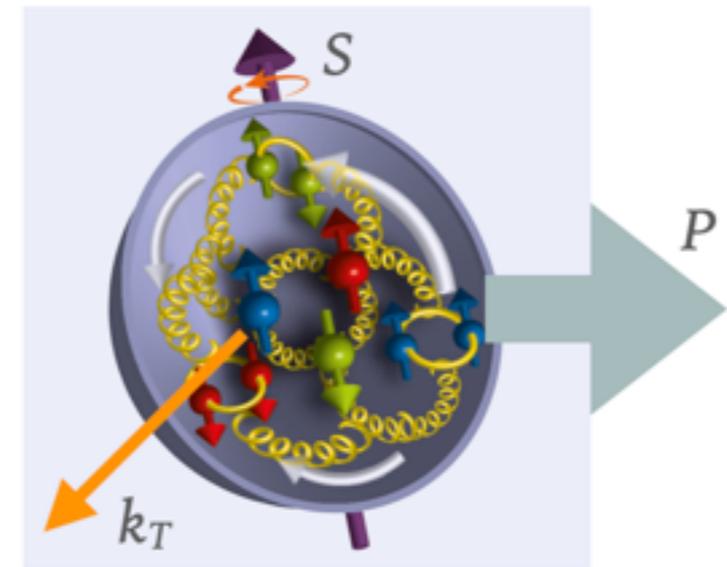
Уменьшение массы
нуклона

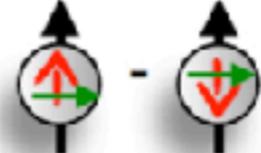
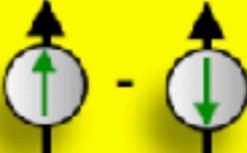
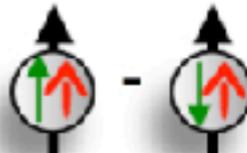
Мультикварковые
мешки



TMD PDFs

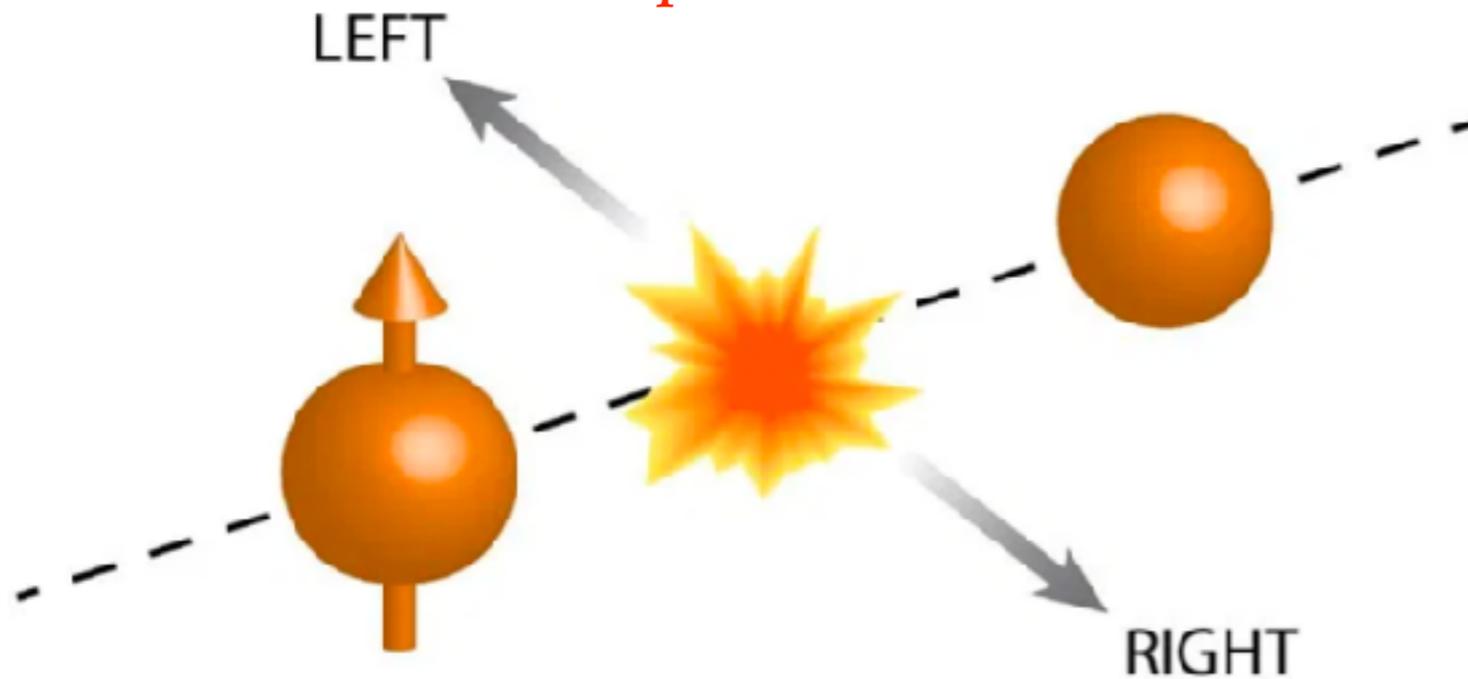
А если учесть поперечное движение партонов в адроне?



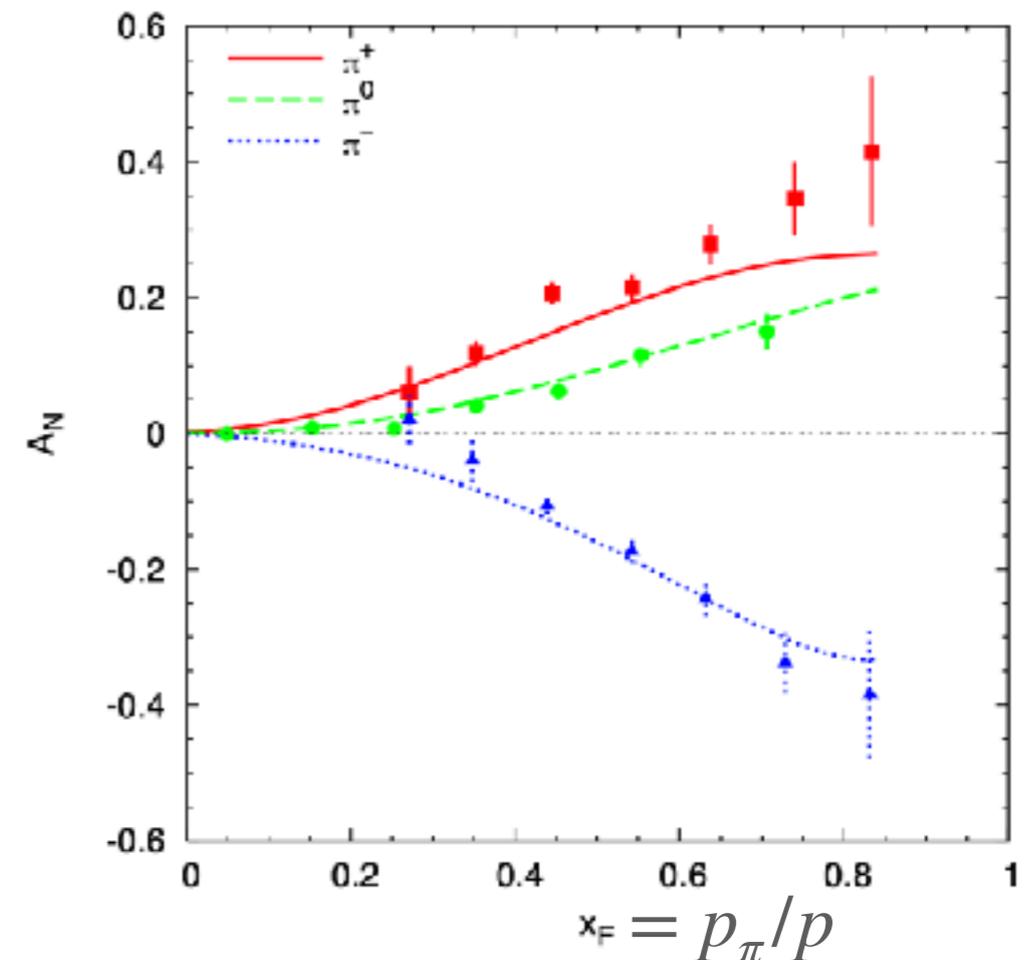
N^Q	U	L	T	
U	f_1 number density 		h_1^\perp Boer-Mulders 	
L		g_1 helicity 	h_{1L}^\perp worm-gear 	
T	f_{1T}^\perp Sivers 	g_{1T}^\perp worm-gear 	h_1 transversity 	h_{1T}^\perp pretzelosity 

Эффект Сиверса

В поперечно поляризованном протоне
вероятности “встретить” кварк
(глюон) с некоторым поперечным
импульсом k_T , *летящий влево и вправо*
разная!



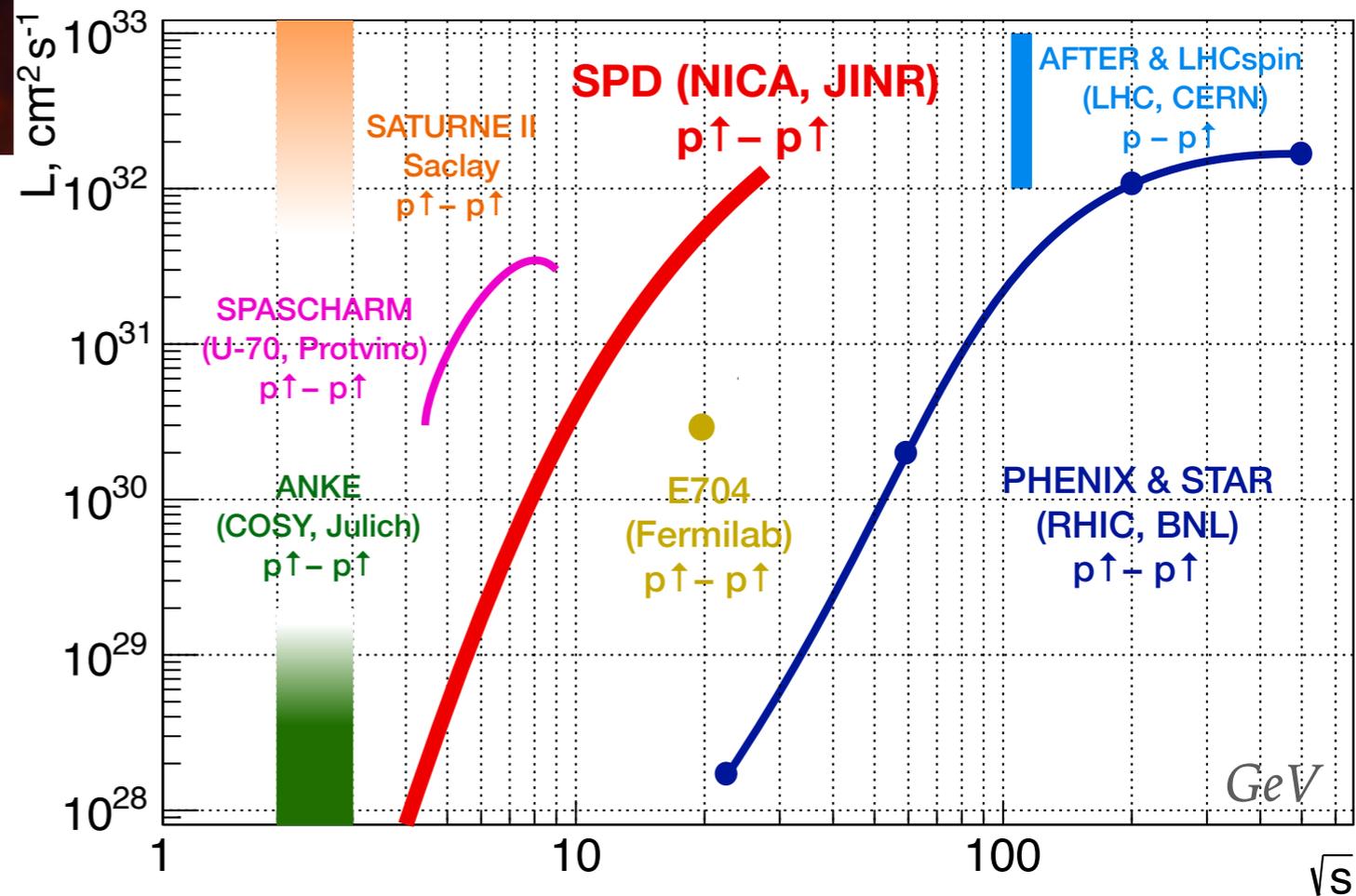
$$A_N = \frac{\sigma^L - \sigma^R}{\sigma^L + \sigma^R} \sim f_{Sivers}$$



**Часто наблюдается вместе с *эффектом Коллинза* -
асимметрией, возникающей при фрагментации конечного
состояния.**

SPD и другие эксперименты

$p^\uparrow p^\uparrow$ режим:

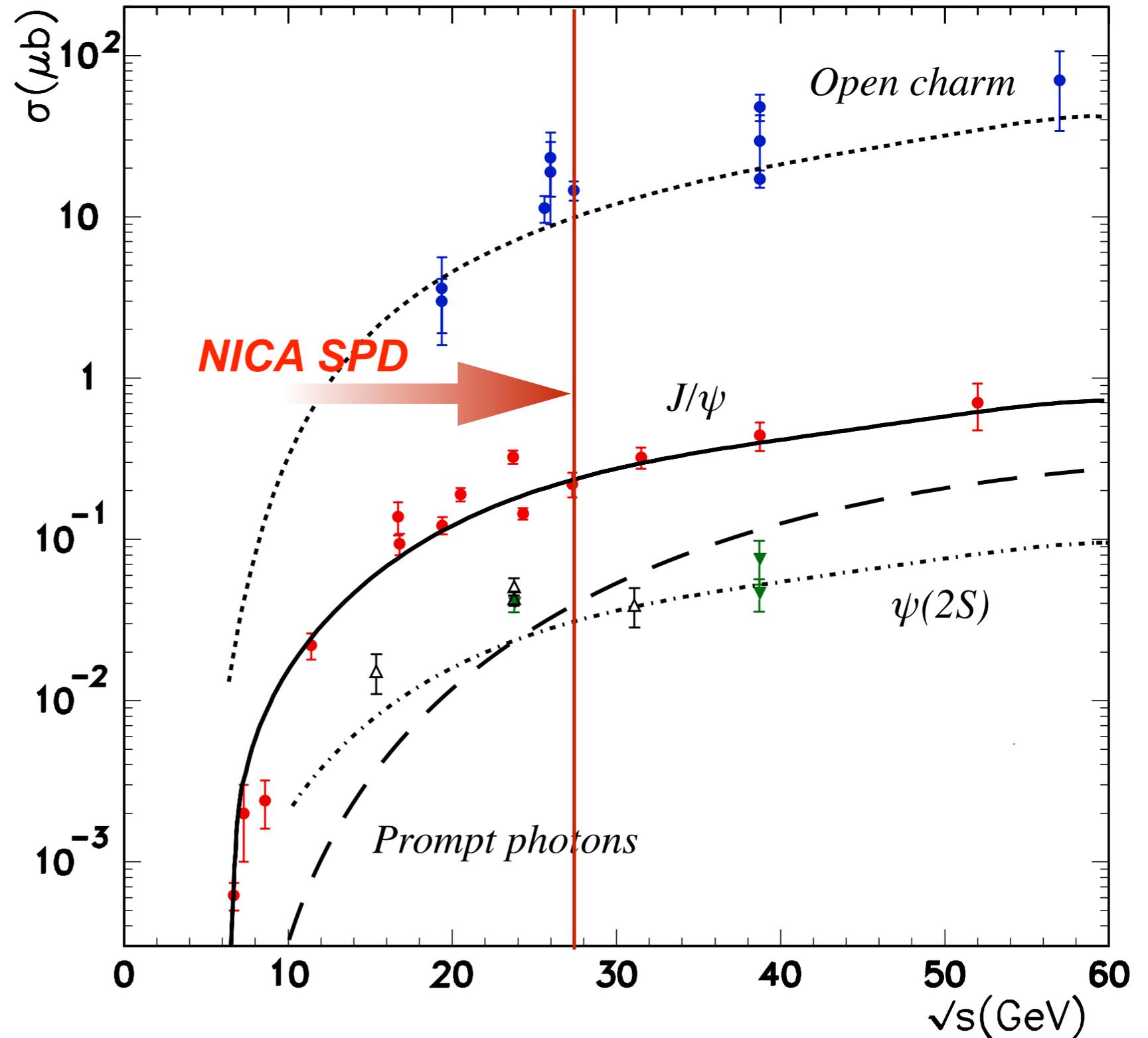
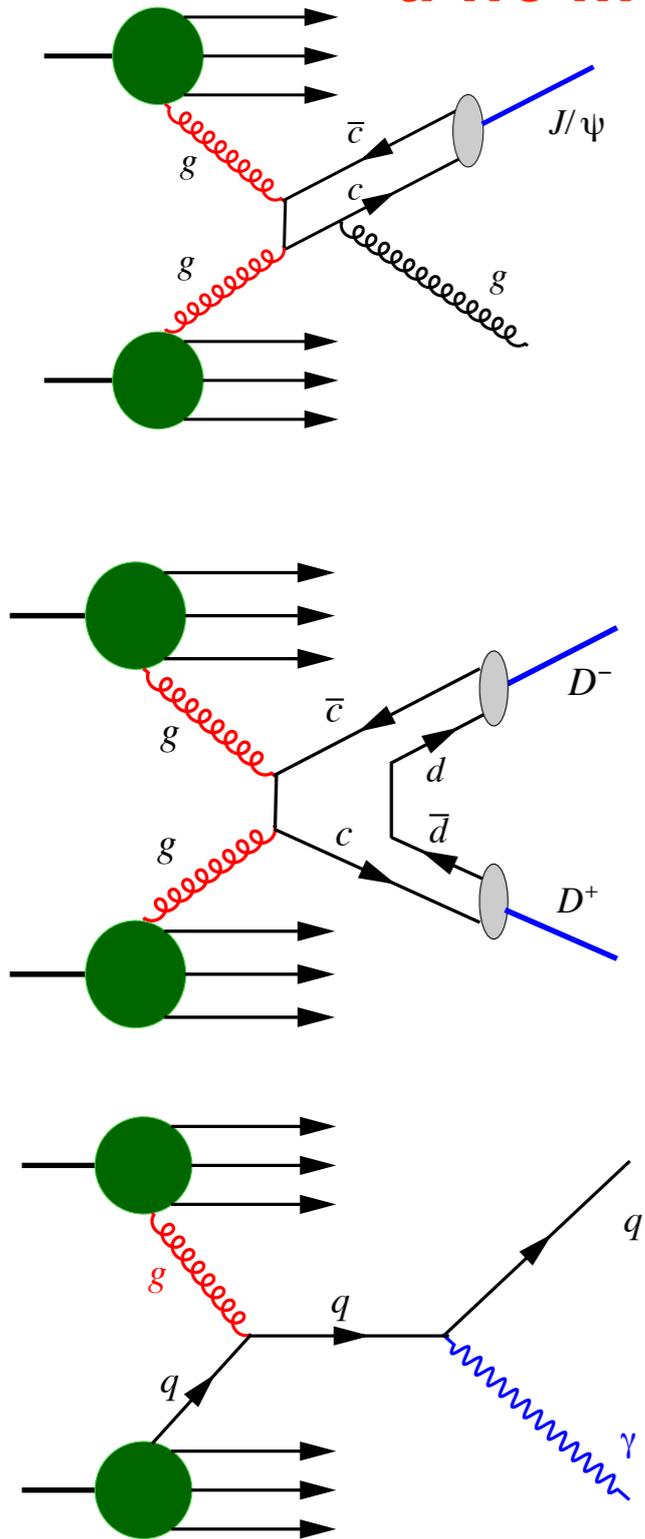


Experimental facility	SPD @NICA	RHIC	EIC	AFTER @LHC	LHCspin
Scientific center	JINR	BNL	BNL	CERN	CERN
Operation mode	collider	collider	collider	fixed target	fixed target
Colliding particles & polarization	$p^\uparrow - p^\uparrow$ $d^\uparrow - d^\uparrow$ $p^\uparrow - d$, $p - d^\uparrow$	$p^\uparrow - p^\uparrow$	$e^\uparrow - p^\uparrow$, d^\uparrow , $^3\text{He}^\uparrow$	$p - p^\uparrow$, d^\uparrow	$p - p^\uparrow$
Center-of-mass energy $\sqrt{s_{NN}}$, GeV	≤ 27 ($p-p$) ≤ 13.5 ($d-d$) ≤ 19 ($p-d$)	63, 200, 500	20-140 (ep)	115	115
Max. luminosity, $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	~ 1 ($p-p$) ~ 0.1 ($d-d$)	2	1000	up to ~ 10 ($p-p$)	4.7
Physics run	>2025	running	>2030	>2025	>2025

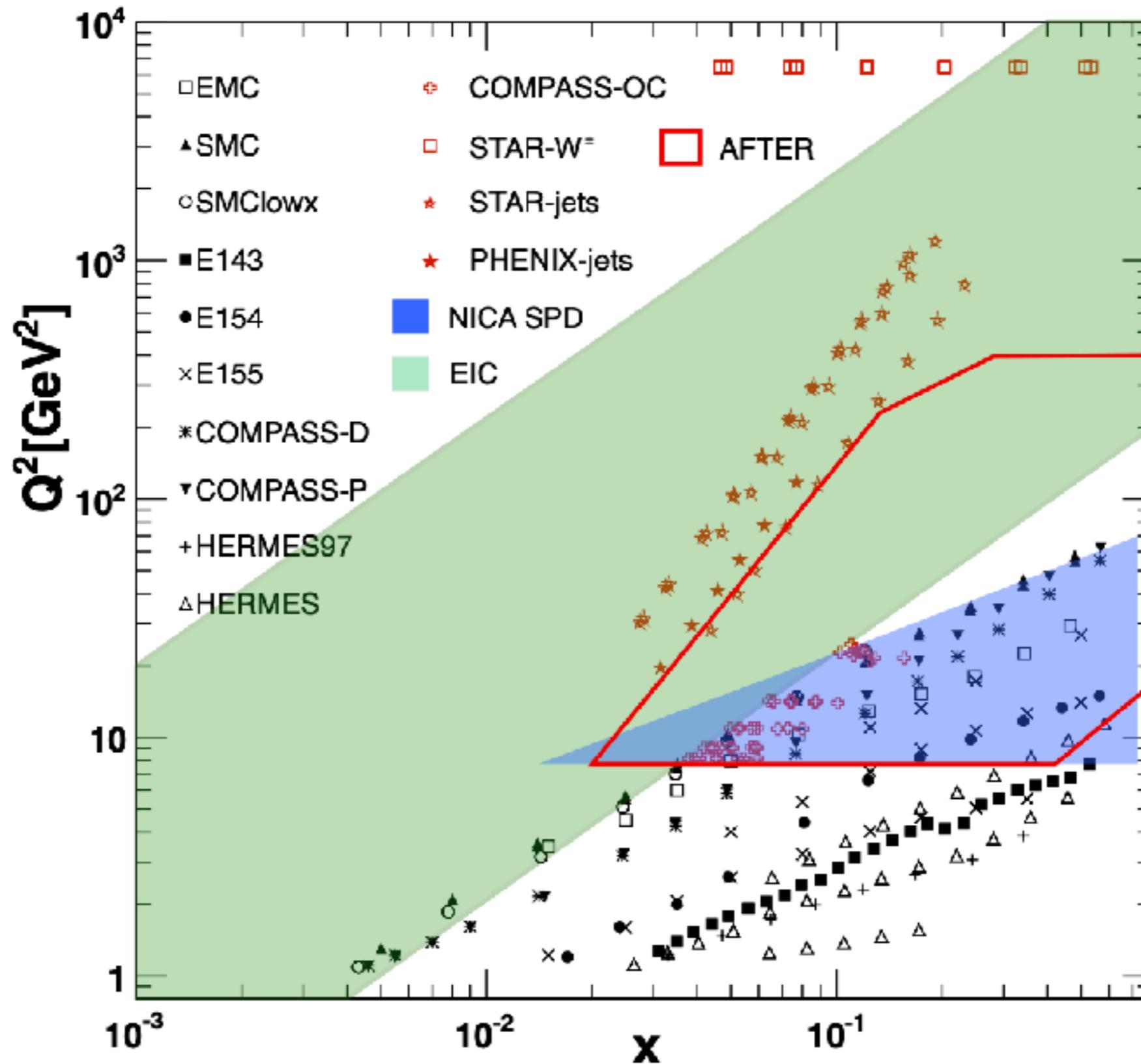
В режиме $d^\uparrow d^\uparrow$ SPD уникален!

Глюонные пробники на SPD

и не только J/ψ !



Кинематический диапазон



Физика первого этапа эксперимента

Непертурбативная КХД

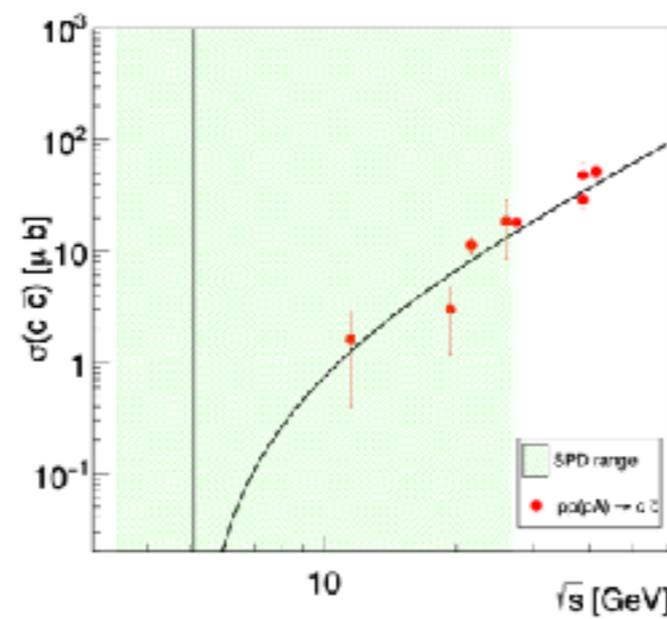
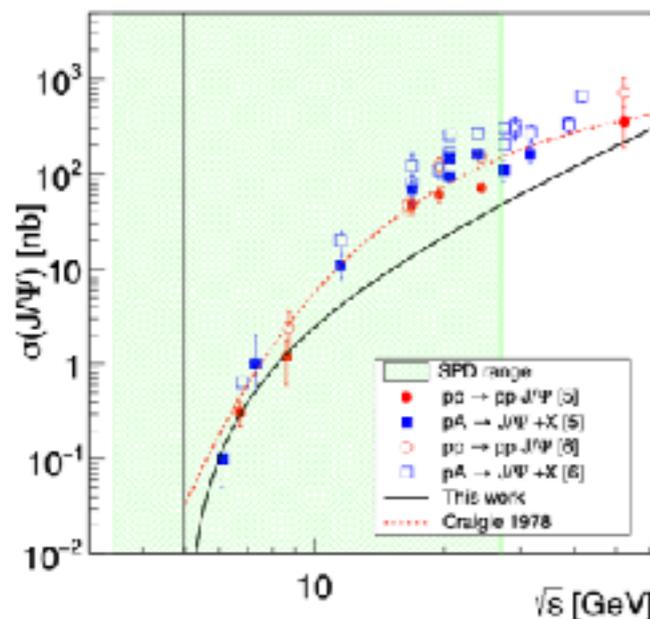
Пертурбативная КХД

- Спиновые эффекты в упругом p-p, p-d и d-d рассеянии
- Спиновые эффекты в рождении гиперонов
- Мультикварковые корреляции и соc
- Дибарионные резонансы
- Физика столкновений лёгких и промежуточных ядер (вместе с MPD)
- Эксклюзивные реакции
- Гиперядра
- Припороговое рождение чармониев и открытого чарма

 \sqrt{s}

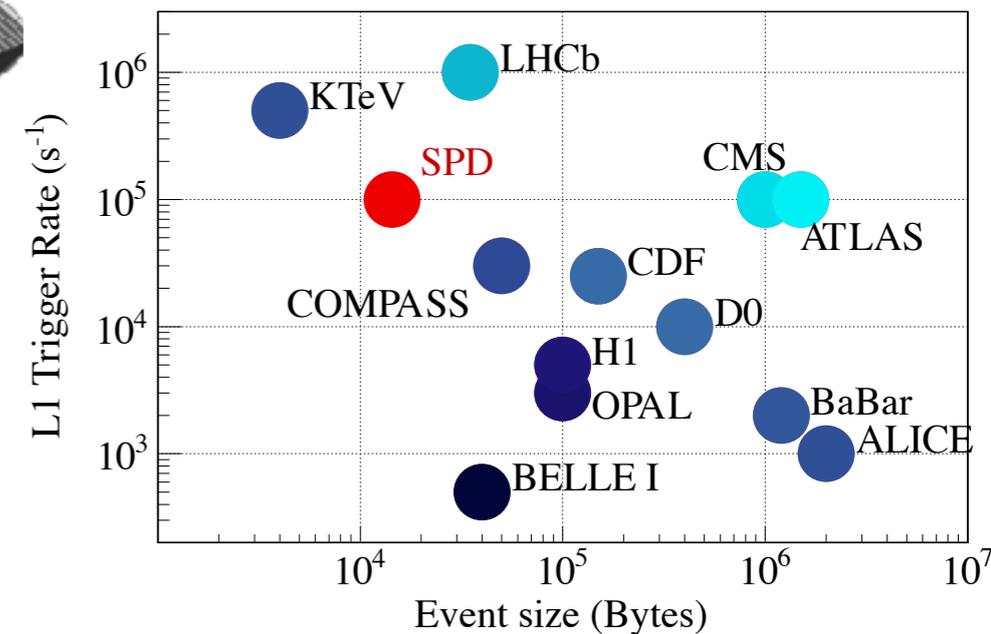
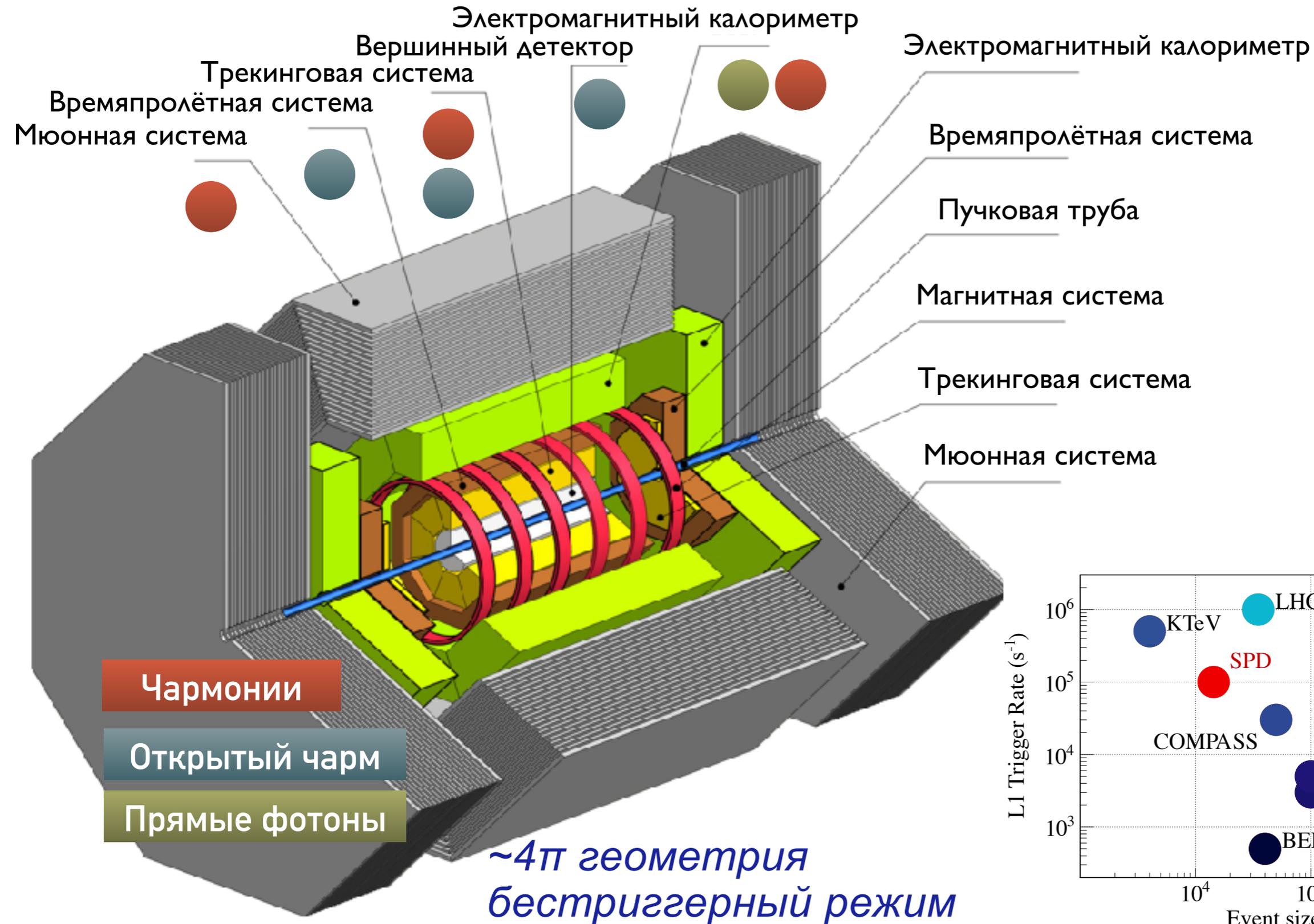
$$pp \rightarrow (6q)^* \rightarrow NN \text{ Mesons,}$$

$$dd \rightarrow K^+ K^+ \Lambda\Lambda^4 n,$$



- Вспомогательные измерения для поиска тёмной материи в астрофизических экспериментах

Концепция установки SPD



Международная коллаборация **SPD**



32 института из 14 стран, ~300 участников



Больше информации тут:

<http://spd.jinr.ru> - страница проекта

<https://arxiv.org/abs/2011.15005> - физическая программа эксперимента

<https://arxiv.org/abs/2102.08477>

<https://arxiv.org/abs/2102.00442> - концептуальный проект эксперимента

Spin Physics
Detector



Эволюция знаний

Наивные представления

**Земля - шар!
II век до н. э.**



Гипотеза дрейфа материков, 1912 г



Великие географические открытия, XV-XIX век