

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

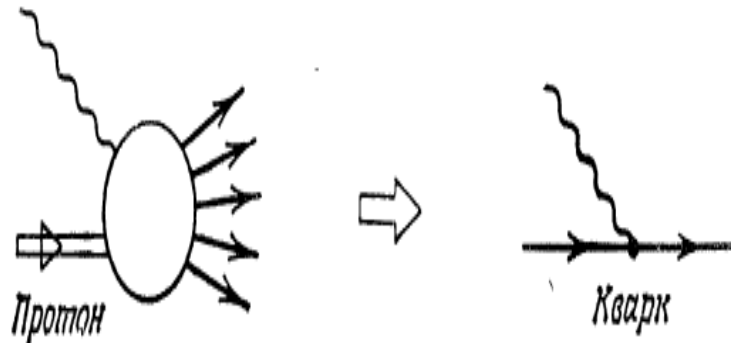
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

кафедра физики элементарных частиц

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОТОНА НА ОСНОВЕ КВАРК-
ПАРТОННОЙ МОДЕЛИ И КВАНТОВОЙ
ХРОМОДИНАМИКИ

Выполнила студентка
Алейникова Полина
Научный руководитель:
Скачков Николай Борисович

ПАРТОНЫ И БЪЁРКЕНОВСКИЙ СКЕЙЛИНГ

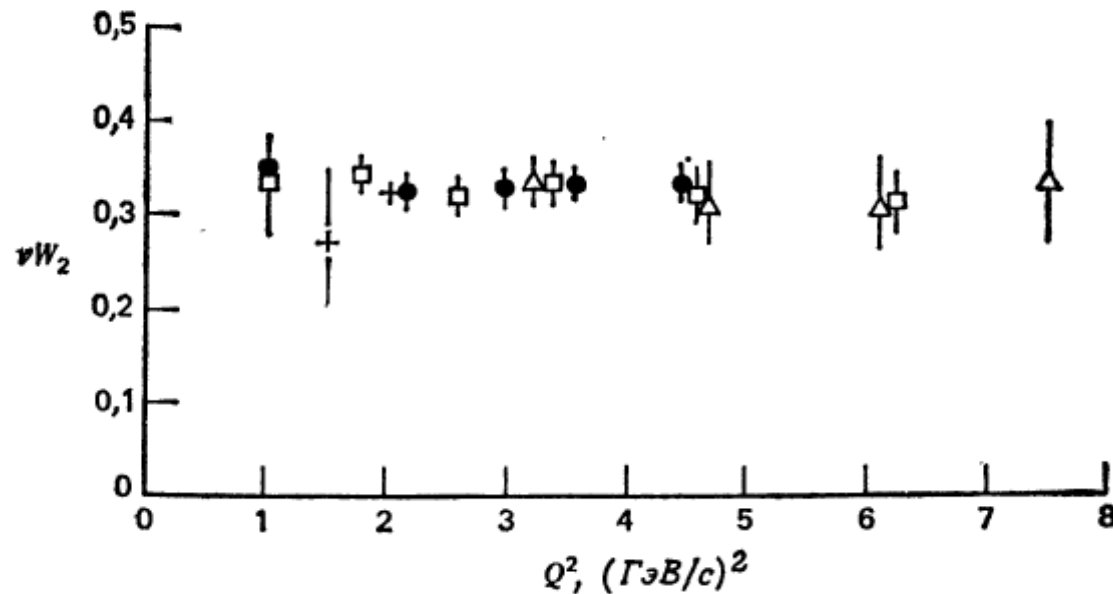


$$2W_1^{\text{точ}} = \frac{Q^2}{2m^2} \delta\left(\nu - \frac{Q^2}{2m}\right),$$

$$W_2^{\text{точ}} = \delta\left(\nu - \frac{Q^2}{2m}\right).$$

С уменьшением длины волны налетающего фотона протон начинает вести себя как свободная дираковская частица (кварк).

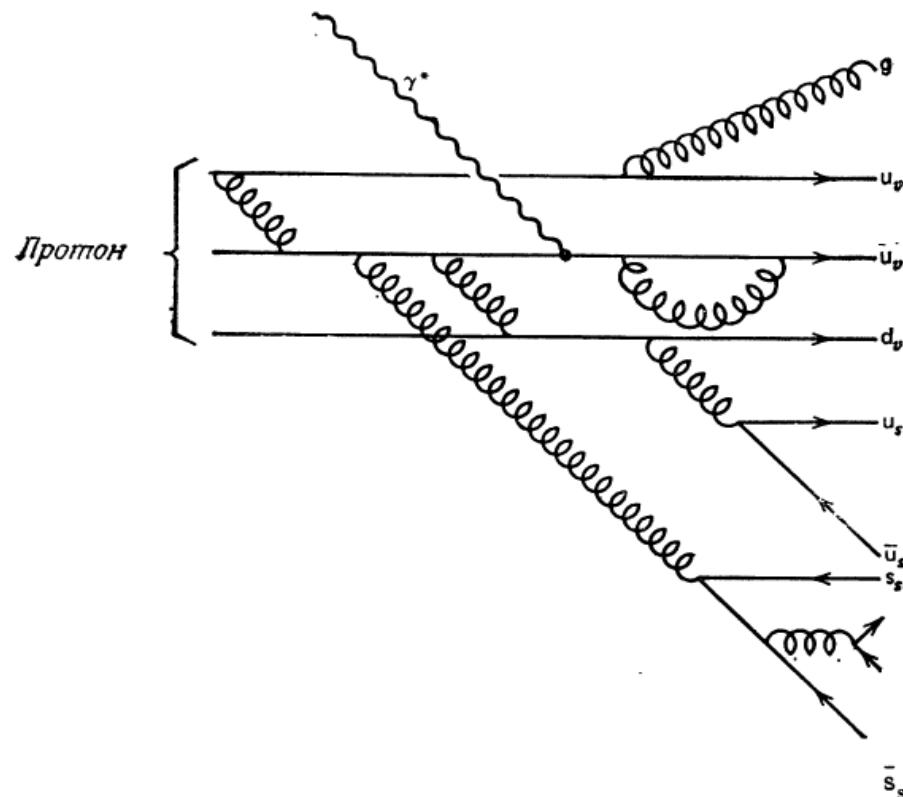
ПАРТОНЫ И БЪЁРКЕНОВСКИЙ СКЕЙЛИНГ



$$F_1(\omega) = \frac{Q^2}{4m\nu x} \delta\left(1 - \frac{Q^2}{2m\nu}\right) = \frac{1}{2x^2\omega} \delta\left(1 - \frac{1}{x\omega}\right),$$

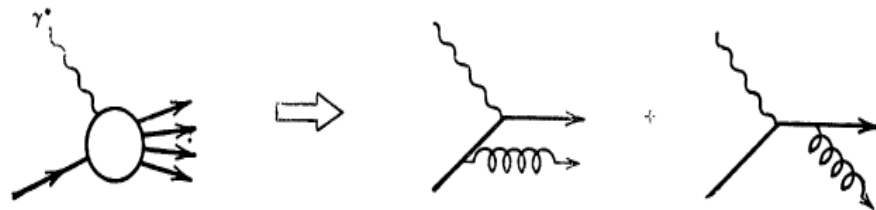
$$F_2(\omega) = \delta\left(1 - \frac{Q^2}{2m\nu}\right) = \delta\left(1 - \frac{1}{x\omega}\right).$$

Кварки и глюоны

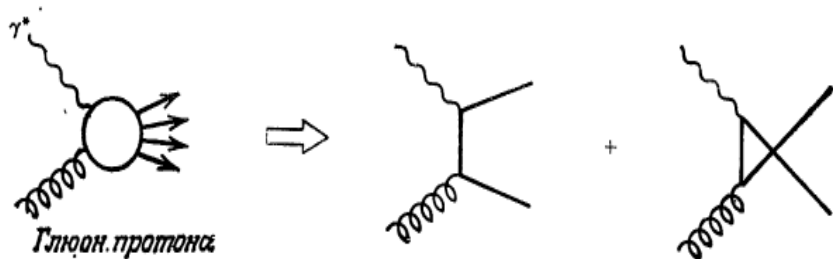


— Модель протона: кроме валентных кварков имеются «морские»

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ФОТОНОВ С ПАРТОНАМИ



Вклады порядка $\alpha\alpha_s$ ($\gamma^*q \rightarrow qg$) в сечение процесса $ep \rightarrow eX$.



Вклады (в порядке $\alpha\alpha_s$) инициируемого глюоном жесткого рассеяния ($\gamma^*g \rightarrow q\bar{q}$) в сечение процесса $ep \rightarrow eX$.

Следствия:

- 1) Нарушение скейлинга
- 2) Конечный кварк, а значит, и соответствующая ему адронная струя не будут больше коллинеарны виртуальному фотону.

ИСПУСКАНИЕ ГЛЮОНОВ

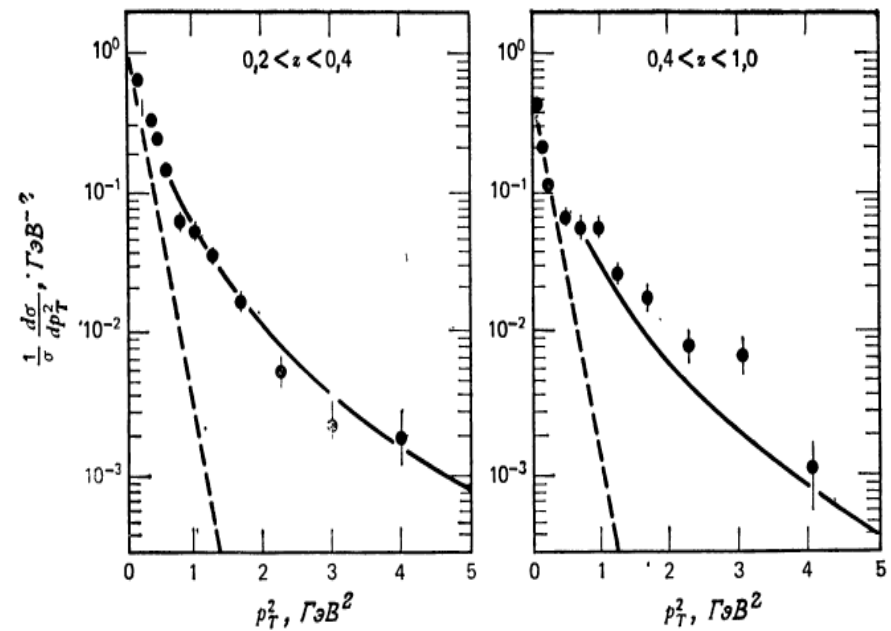
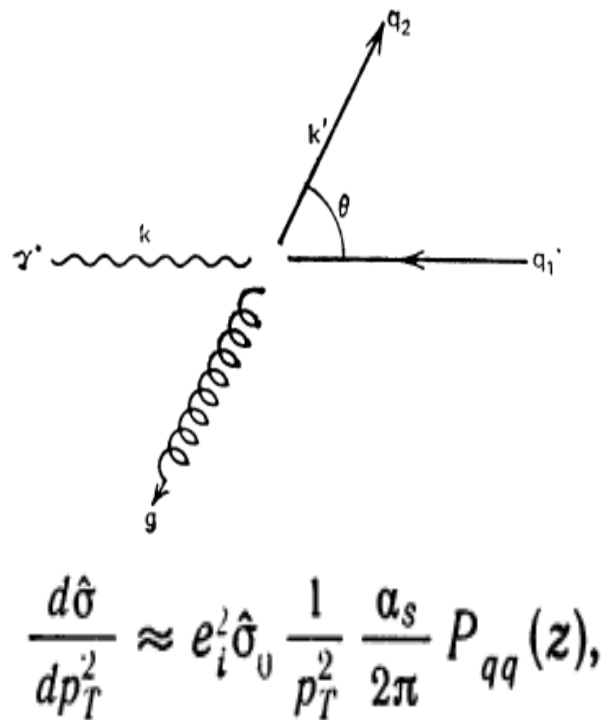
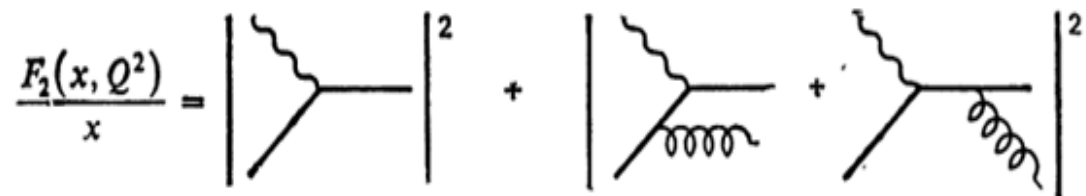


Рис. 8. Распределение по p_T^2 относительно направления виртуального фотона адронов, рожденных во взаимодействиях μN . Штриховая линия — предсказание в отсутствие испускания глюонов. Данные ЦЕРНа (взаимодействия μN и eN дают одинаковые кривые).

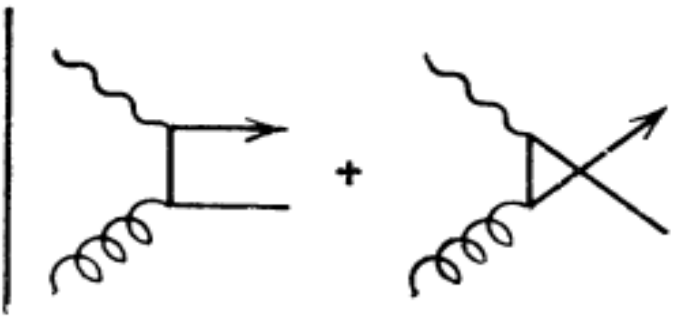
Уравнение Альтарелли-Паризи.

$$\frac{F_2(x, Q^2)}{x} = \left| \text{diagram 1} \right|^2 + \left| \text{diagram 2} + \text{diagram 3} \right|^2$$
The diagram shows the first-order corrections to the parton distribution function. The first term is the square of the Born-level diagram, which is a single quark line. The second term is the square of the sum of two diagrams: one where a gluon is emitted from the quark line, and another where a gluon is absorbed by the quark line.

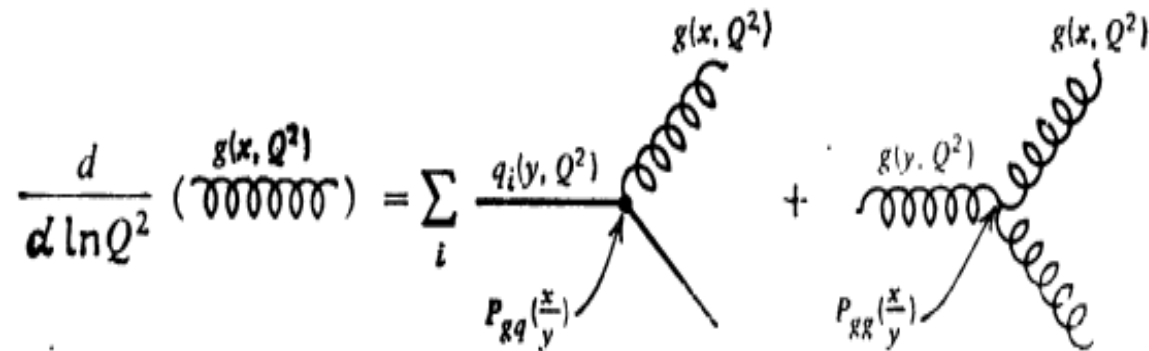
$$\frac{d}{d \ln Q^2} q(x, Q^2) = \frac{\alpha_s}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} q(y, Q^2) P_{qq} \left(\frac{x}{y} \right).$$

Оно математически выражает то обстоятельство, что кварк с долей импульса x [q в левой части] может возникнуть из исходного кварка с большей долей импульса y [q в правой части], который испустил глюон.

Рождение пар глюонами.

$$\frac{F_2(x, Q^2)}{x} \Big|_{\gamma^* g \rightarrow q\bar{q}} = \left| \begin{array}{c} \text{Diagram 1} \\ + \\ \text{Diagram 2} \end{array} \right|^2 =$$
$$= \sum_q e_q^2 \int_x^1 \frac{dy}{y} g(y) \frac{\alpha_s}{2\pi} P_{qg} \left(\frac{x}{y} \right) \ln \frac{Q^2}{\mu^2},$$


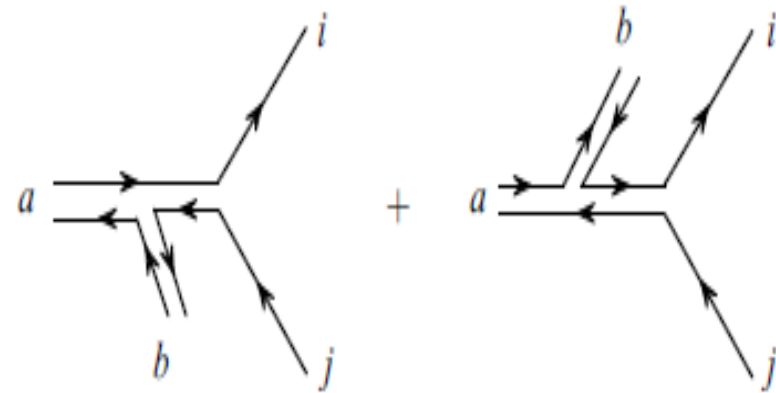
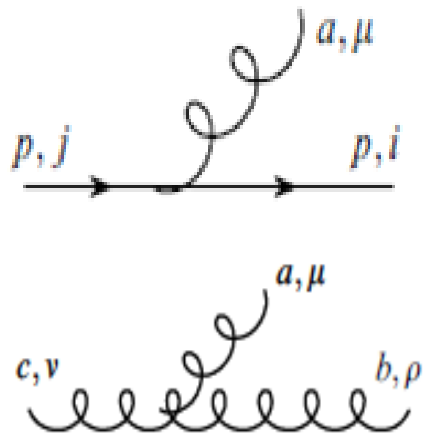
Эволюция глюонной плотности в протоне



$$\frac{dg(x, Q^2)}{d \ln Q^2} = \frac{\alpha_s}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} \left(\sum_i q_i(y, Q^2) P_{gq}\left(\frac{x}{y}\right) + g(y, Q^2) P_{gg}\left(\frac{x}{y}\right) \right),$$

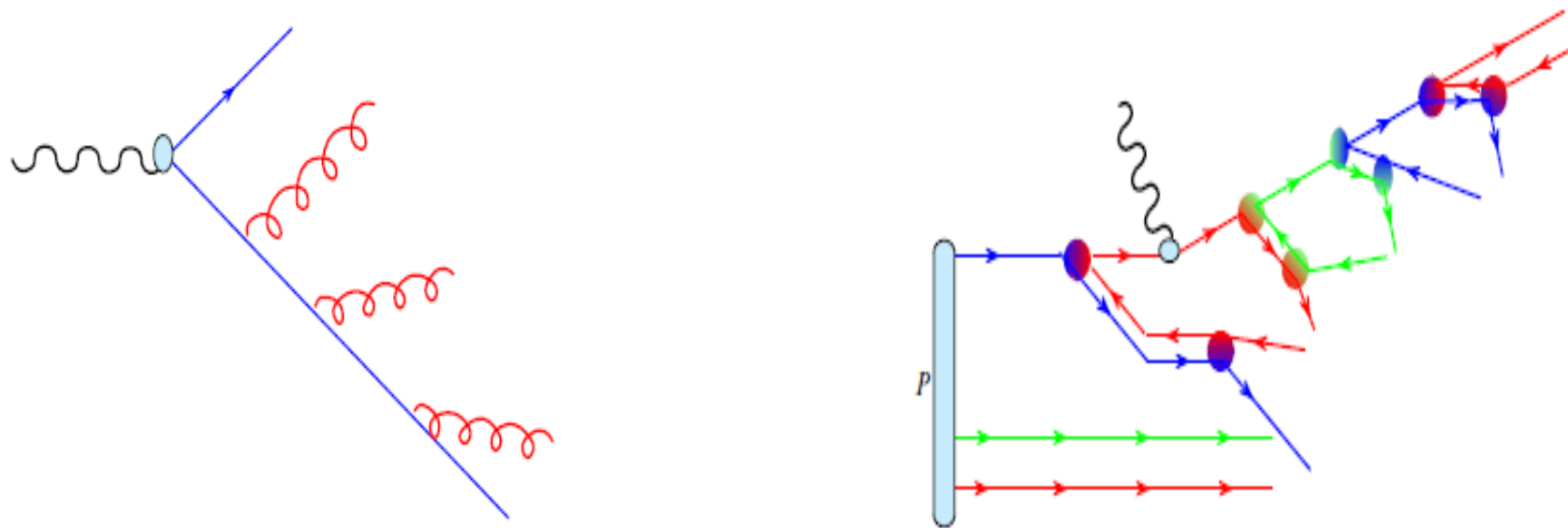
$$P_{gg} = 6 \left(\frac{1-z}{z} + \frac{z}{1-z} + z(1-z) \right)$$

Мягкая глюонная эмиссия



Глюонная эмиссия может быть рассмотрена как некогерентная сумма эмиссий 2-х цветовых токов

Угловое упорядочение для ЭМИССИИ МЯГКИХ КВАРКОВ



Рассеянный фотоном кварк испускает первый глюон, который забирает цвет у кварка и передает свой антицвет высвободившемуся кварку. Кварк продолжает эволюционировать, излучая все больше глюонов, которые каждый раз утрачивают свой цвет и передают свой антицвет получившемуся кварку.

Адронизация

В КХД число продуктов реакции конечно, легчайший объект, который может родиться, - пион, масса которого отлична от 0.

Силы между кварками превращают их в кварк-антикварковые пары и эти кварки являются источниками образования адронов.

Когда $q_i\bar{q}_j$ - пара разделится под действием постоянной силы, ее кинетическая энергия превращается в возрастающую потенциальную. Эта энергия сможет перейти в новую кварк-антикварковую пару, $q_k\bar{q}_k$ как только ее величина превысит соответствующий массовый порог.

Если инвариантные массы пар $\bar{q}_k q_j$ и $\bar{q}_j q_k$ совпадают с массами каких-либо резонансов с подходящими ароматами, то они формируют адроны.

Заключение

1. Протон имеет довольно сложную структуру: состоит из 3 валентных кварков, окруженных «морскими» кварками и глюонами.
2. Излучение глюонов приводит к нарушению скейлинга и появлению у кварка поперечного импульса, отличного от нуля.
3. Полученные уравнения эволюции партонных плотностей могут быть использованы для вычисления сечений других процессов, включающих в себя адроны.
4. Описанные свойства адронизации универсальны: модель, объясняющая адронизацию при определенной энергии, будет так же хорошо работать и для другого значения энергии.

Список литературы

1. Хелзен Ф., Мартин А. «Кварки и лептоны: Введение в физику частиц»: Мир, 1987.
 2. Мангано М.Л. «Квантовая хромодинамика и физика адронных столкновений», 2010.
 3. Перкинс Д. «Введение в физику высоких энергий» - Мир, 1975.
 4. Фейнман Р. «Взаимодействие фотонов с адронами» - Мир, 1975.
 5. Окунь Л.Б. «Лептоны и кварки» - Наука, 1990.
 6. Окунь Л.Б. «Физика элементарных частиц» - Наука, 1988.
- 