

ОИЯИ



ИЯИ РАН

# К истории гипотезы цвета кварков и дубненской модели адронов»

( к 50 – летию *цветных* кварков )

( В.А.Матвеев, ОИЯИ / ИЯИ РАН )

Чтения М.А.Маркова 15 мая 2015 год г.Москва ИЯИ РАН

# Триумф Стандартной Модели ЭЧ

## Краеугольные камни СМ :

1. Фундаментальная симметрия  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$
2. Фундаментальные составляющие ЭЧ – фермионы  
Цветные кварки & Лептоны
3. Локальные калибровочные поля: Фотон,  $W$ ,  $Z$ ,  $G$   
как переносчики электрослабых (EW) и  
сильных (QCD) взаимодействий
4. Фундаментальное скалярное поле  $H$  (ЕВН)
5. Спонтанное нарушение EW симметрии
6. Невылетание кварков из адронов  
Конфайнмент Цвета

# Вклад ученых России, в том числе Дубны

- Калибровочная инвариантность (Фок)
- Составная природа элементарных частиц (Марков, Окунь)
- Квантование неабелевых калибровочных полей (Фаддеев, Попов; Славнов; Грибов)
- Принцип перенормируемости и микропричинности при построении  $S$  – матрицы (Боголюбов)
- Перенос принципа спонтанного нарушения симметрии из физики конденсированных сред в физику элементарных частиц (Боголюбов)
- Ренормгрупповая инвариантность как основа явления асимптотической свободы в QCD (Боголюбов, Ширков, Логунов)
- Введение нового квантового числа кварков (цвета) (Боголюбов, Струминский, Тавхелидзе)
- Парастатистика как альтернатива введения цвета кварков (Волков, Говорков)
- Явление осцилляций нейтрино (Понтекорво, Биленький, Грибов)

(1964)

М.Гелл-Манн и Дж.Цвейг

Модель кварков как гипотетических составляющих  
адронов

(1965)

Н.Н.Боголюбов, Б.В.Струминский, А.Н.Тавхелидзе

Han M.-Y., Nambu Y.

Freund P.G.O.

Miyamoto Y.

Введение нового квантового числа кварков **(Цвет)**  
как путь к разрешению противоречия между спином  
и статистикой кварков

# Spin-Flavor Symmetry SU(6)

The low – lying octet of baryons (p, n, etc.) belongs to the fully symmetric 56-multiplet

- Do quarks behave themselves as bosons ?!
- **Example: The Nucleon magnetic moments**

*Proton*  $p^\uparrow : \left( u^\uparrow u^\uparrow d^\downarrow \right), \left( u^\uparrow u^\downarrow d^\uparrow \right)$

*Weights:*  $2/3$   $1/3$

- Example: The Nucleon magnetic moments

(cont'd)

$$\mu_p = \frac{2}{3}(2\mu_u - \mu_d) + \frac{1}{3}\mu_d = \frac{1}{3}(4\mu_u - \mu_d) = \frac{e}{2E_q}$$

$$\mu_N = \frac{2}{3}(2\mu_d - \mu_u) + \frac{1}{3}\mu_u = \frac{1}{3}(4\mu_d - \mu_u) = -\frac{2}{3} \frac{e}{2E_q}$$

$$\mu_p / \mu_N = -3 / 2 !$$

*Why  $E_u = E_d = E_q \approx m_N / 3$  ?*

# Problems and Questions:

- Nobody have seen the quarks in experiments.
- Does it mean that quarks are very heavy?
- What is the reason for the enhancement of the quark magnetic moment if quarks are heavy?
- H.Lipkin, A.Tavkhelidze: The interaction forces binding quarks in hadrons are scalar forces.
- Hypothesis: Free quarks are very heavy.  
But quarks inside hadrons are effectively light and the quasi-independent (Pavel Bogolubov)  
“The Archimedes bath” (Abdus Salam)

# Кварки как парафермионы ранга $p=3$

Greenberg O.W., 1964

Green H.S. (1953)

Volkov D.V. (1959) Chernikov N.A. (1962)

Kamefuchi, Takahashi (1962)

$$\psi(x) = \sum_{i=1}^p \psi_i(x)$$



# Кварки как парафермионы ранга $r=3$

(cont'd)

$$\left[ \psi_i(x), \psi_j(y) \right]_{(2\delta_{ij}-1)} = 0$$

$$\left[ \psi_i(x), \bar{\psi}_j(y) \right]_{(2\delta_{ij}-1)} = i\delta_{ij}\delta(x-y)$$

$$\left[ \psi_i(x), \left[ \psi(y), \bar{\psi}(z) \right] \right] = 2i\delta(x-y)\psi(z)$$

$$M \sim \left[ \psi, \bar{\psi} \right]_-, \quad B \sim \left[ \psi, \left[ \psi, \psi \right]_+ \right]_+, \quad \left[ \psi, \left[ \psi, \psi \right]_- \right]_- = 0$$

$$DQ \sim \left[ \psi, \psi \right]_- ?; \quad QM \sim \left[ \psi, \left[ \psi, \bar{\psi} \right]_+ \right]_+ ?$$

# Парастатистика и вырождение при наличии $p$ – значной экстра степени свободы

(1966) Greenberg, Messiah ; А.Б.Говорков

Преобразование Клейна (1938) к нормальным каноническим перестановочным соотношениям:

$$\psi_i \rightarrow \theta^{-1} \psi_i \theta \equiv K_i, \quad \{K_i, K_j\} = 0, \quad \{K_i, \bar{K}_j\} = \delta_{ij}$$

**Теорема А.Говоркова (1966):**

*Теория параполей при выполнении стандартных требований локальной КТП эквивалентна теории  $p$ -кратно вырожденных обычных полей с  $SO(p)$  симметрией, а при дополнительных ограничениях - на выбор функций Уайтмана  $SU(p)$  симметрии.*

# Механизм удержания кварков: Строгие принципы КТП и Эвристические модели

Роль феноменологических представлений о натянутых струнах (Strings), связывающих кварки и антикварки, полостях (Cavities) конечного объема  $V$  с динамически деформируемой оболочкой  $S=dV$ , внутри которой заключены цветные кварки и глюоны.

# Magnetostriction of the Quark Bag and Hadron Polarizability

## The Quark Bag surface as the dynamic degree of freedom

### The dynamically deformed form factors (Markov)

$$E(R, \vec{H}) = E_0(R) + \vec{H} \vec{\mu}(R) + O(H^2) \quad (\text{Nucleon})$$

$$E_0(R) = \frac{4\pi}{3} R^3 B + \frac{1}{R} A [\alpha_s(R)]; \quad \frac{\partial E(R, \vec{H})}{\partial R} = 0$$

$$\vec{\mu}(R) = \left\langle \int d^3 r \frac{1}{2} \vec{r} \times \bar{\Psi} \vec{\gamma} Q \Psi \right\rangle_{\text{nucleon}} = eCR \cdot \vec{J}$$

$$\beta_H = \frac{d^2 E(R(H), H)}{dH^2} \Big|_{H=0} = (\mu'_0)^2 / E_0'' = \frac{\alpha}{12} \frac{\mu^2}{M^3} \sim 10^{-5} \text{ fm}^3$$

$$\mu'_0 = \frac{\partial \mu}{\partial R} \Big|_{H=0} = \pm \frac{e}{2} c; \quad E_0'' = \frac{\partial^2 E_0}{\partial R^2} = 4A^{1/4} (4\pi B)^{3/4}$$

# Automodelity Principle and Power Scaling Laws in Particle and Nuclear Physics (MMT)

M.A. Markov (1964): Point-like character of the total cross sections of the lepton – hadron interactions at high energies.

$\sigma_{tot} \geq \sigma_{el}$  - Point-like structure of the Nucleon

Di-muon production in HE hadron collisions (1969)

Quark Counting Rules (1974)

Quarks Degrees of Freedom in Nuclei (1975)

Deuteron as the 6-quark System (1977)

Hidden Color in hadrons

The Multi-quark Systems

The ChromoHydroDynamics