

Cohesive Field of Deformable Meson

伊藤 大介 (埼玉大理工)

1. Introduction

先に Quark 振動子模型に於ける Hooke の力の起源について¹⁾、中間子内の Quark q と Antiquark \tilde{q} を引き離す際、 $q \cdot \tilde{q}$ 間の強い引力にさからって引き離すよりも、若し、 $q \cdot \tilde{q}$ 間に多数の quark pair が生じ、生じた pair がもとの中間子の固有場とみなされるなら、その方が Energy 的にも有利であり、その際固有場として貯れられた Energy が、引離された $q \cdot \tilde{q}$ をもとへ引き戻す復元力の Potential として機能するであろうという模型を提案したが、この場合、(1) $q \cdot \tilde{q}$ の引離しによって Pair を生ずる機構の詳細を考えなかった点や、(2) 生じた Pair が固有場と見なし得ることについても仮定として現象論的に取扱わざるを得なかった点で不満足なものであった。

$q \cdot \tilde{q}$ を引き離せば図 1 a のように、その間に Pair を生じ、

もとへ戻せば、Pair も自動的に消滅するという、前回仮定した機構は、図 1 b のように中性

粒子を荷電 $+q$, $-q$ の部分に分極させれば附近に双極子電界を生じ、 $+q$, $-q$ を合体させれば電界も消えてしまう事情によく似ている。しかも、生じた

双極子場は粒子系に付随する固有場である。従って Meson が変形して、その内部に $q \cdot \tilde{q}$ の分極が起るとき、その周囲に

Pair 又は Gluon (Neutral Vector Meson) が双極子場として生成され、分極に要した Energy が Gluon の Static Dipole Field Energy として貯えられるという機構を考えるなら、上に述べた不満(1), (2)を取り除くことが出来よう。以下、そのような Model について述べる。

Pair 又は Gluon (Neutral Vector Meson) が双極子場として生成され、分極に要した Energy が Gluon の Static Dipole Field Energy として貯えられるという機構を考えるなら、上に述べた不満(1), (2)を取り除くことが出来よう。以下、そのような Model について述べる。

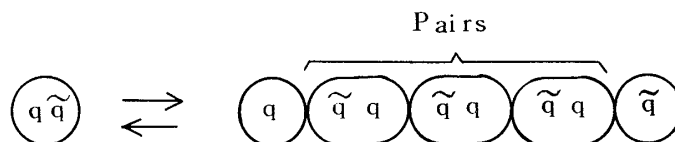


図 1. a.

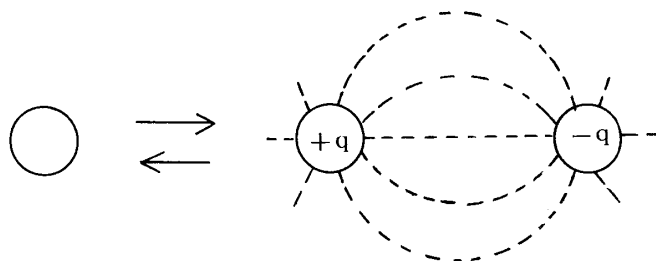
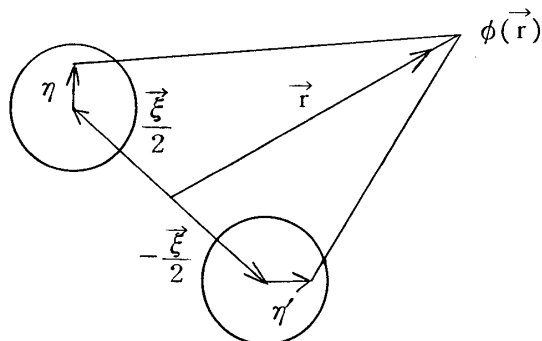


図 1. b.

て貯えられるという機構を考えるなら、上に述べた不満(1), (2)を取り除くことが出来よう。以下、そのような Model について述べる。

2. Cohesive Field Energy and Hookés Force

q, \bar{q} が距離 ξ だけ分極した Meson (図2) が、点 \vec{r} (原点は Meson の重心) に作る Gluon Field を考える。Quark 振動は非相対論的とし、Gluon 場も Vector の第4成分、Scalar Potential $\phi(\vec{r})$ のみが重要と仮定しよう。quark の固有場の Energy (自己エネルギー) が問題になるので、 q, \bar{q} の Form Factor $F(\eta)$ を導入する。電磁場との類推の便宜上 Gluon Mass は零とする。(Mass を導入することは容易である)



第 2 図

さて以上の単純化の上で、Dipole Potential $\phi(\vec{r})$ は、

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}) &= \frac{1}{4\pi} \int d^3\eta F(\eta) \left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{\eta} - \vec{\xi}/2|} - \frac{1}{|\vec{r} - \vec{\eta} + \vec{\xi}/2|} \right) \\ &= \frac{-2i}{(2\pi)^3} \int \frac{F(k)}{K^2} d^3k \sin \frac{\vec{k} \cdot \vec{\xi}}{2} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} \end{aligned} \quad (1)$$

となり、これから Dipole Field Energy

$$U = \frac{1}{2} \int \mathbf{E}^2 dv = \frac{1}{2} \int (\nabla\phi)^2 dv \quad (2)$$

を求めれば

$$U = \frac{2}{(2\pi)^3} \int \frac{|F(k)|^2}{k^2} d^3k \sin^2 \frac{\vec{k} \cdot \vec{\xi}}{2} = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty dk |F(k)|^2 \left(1 - \frac{\sin k\xi}{k\xi}\right) \quad (3)$$

となる。場の Energy は粒子の座標 ξ のみの関数 $U=U(\xi)$ で (固有値!) $\xi=0$ で $U=0$ (No Gluon), ξ が小さな処では

$$U(\xi) \approx \xi^2 \frac{1}{6\pi^2} \int_0^\infty |F(k)|^2 k^2 dk \equiv \frac{\xi^2}{a^3} \quad (4)$$

となり、予想通り Oscillator Potential が得られる。

3. Distant Interaction Picture

次に ξ が大きな処での $U(\xi)$ の振舞いを調べるため、場の Energy U を遠隔作用の描像でしらべてみよう。(2)は部分積分により、

$$U = -\frac{1}{2} \int \phi(\vec{r}) \Delta \phi(\vec{r}) d\mathbf{v} \quad (5)$$

となり、(1)から

$$-\Delta \phi(\vec{r}) = \int d^3\eta F(\eta) \left[\delta^3(\vec{r}-\vec{\eta}-\frac{\vec{\xi}}{2}) - \delta^3(\vec{r}-\vec{\eta}+\frac{\vec{\xi}}{2}) \right] \quad (6)$$

が得られるから、(1)と(6)を(5)に代入し、

$$U(\xi) = \int d^3\eta d^3\eta' \left(\frac{F(\eta)F(\eta')}{4\pi|\vec{\eta}-\vec{\eta}'|} - \frac{F(\eta)F(\eta')}{8\pi|\vec{\eta}-\vec{\eta}'-\vec{\xi}|} - \frac{F(\eta)F(\eta')}{8\pi|\vec{\eta}-\vec{\eta}'+\vec{\xi}|} \right) \quad (7)$$

が得られる。この第1項は $q \cdot \tilde{q}$ の自己エネルギー、第2項は $q \cdot \tilde{q}$ の相互作用のエネルギーであることがわかる。(3)は(7)の Fourier Transform であることも容易にわかる。

さて $\xi \rightarrow \infty$ では(7)の第2項は零となり、

$$U(\infty) = \int d^3\eta d^3\eta' \frac{F(\eta)F(\eta')}{4\pi|\vec{\eta}-\vec{\eta}'|} = q \cdot \tilde{q} \text{ の自己エネルギーの和} \quad (8)$$

となる。この事情は図3からも明らかであろう。

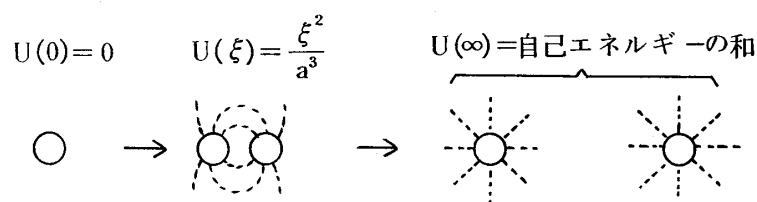


図 3

従って、Gluon による $q \cdot \tilde{q}$ の大きな自己エネルギーが幸いして(?) Meson は Free Quark Pair に解離困難であることがわかる。 逆にいえば、自由な Quark は Gluon との Self-action により、大きな Mass をもつが、 $q \cdot \tilde{q}$ が近づいて Meson を構成する距離に達すると Self-Energy は Interaction Energy に打消され、軽い Bare Mass をもつ粒子として振舞うことになる。

4. Concluding Remark

以上の考察では Meson は quark pair に分極するものと最初から仮定してきたが、必要なことは Meson (一般には粒子) が何等かの形で Polarizable であって、その Polarization によって Gluon の Dipole Field を生ずることだけである。従って、いろいろな態様の分極を考える自由度があることになる。それによって種々の構造模型が可能であろう。特に Boson が Fermion Pair に分極するとしても、分極は電荷ではなくて、Gluon との Coupling について起るのであるから、分極成分がどのような電荷をもっているかについての制約はない。Gluon Charge の分極が電荷については Fractional に分けるような仕組みを考えることによって、逆に Quark の構造論的意味が明らかになるかも知れない。

また、今までは Gluon の Static な側面のみを考えて来たが、Meson の Dipole Vibration から Gluon Emission が可能なのは、Static Colomb Potential で束縛されている Hydrogen Atom が、photon Emission 可能なのと同じであろう。

(July. 29. '75)

参 考 文 献

- 1) D. Itô. Prog. Theor. Phys. 53 291 (1975), 素研