

氏名・(本籍)	み やけ しょう ごと 三 宅 章 吾
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 2 4 2 号
学位授与年月日	昭和 4 6 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)原子核理学専攻修了
学位論文題目	中間子系における Veneziano 模型
論文審査委員	(主査) 教授 佐 藤 岩 男 教授 武 田 暁 助教授 高 橋 嘉 右

## 論 文 目 次

第 1 章	Introduction
第 2 章	$P_8 - P_8$ 散乱への応用
第 3 章	$P_8 - V_9$ 散乱への応用
第 4 章	Form Factor への応用
第 5 章	$\pi\pi$ 散乱への応用
第 6 章	Discussion
	Appendix
	参考論文

# 論文内容要旨

## 第1章 Introduction

1968年、強い相互作用をする素粒子の間の散乱振幅を記述する1つの画期的なmodel—いわゆる Veneziano model—が、Venezianoによって提唱された。Veneziano modelは、例えば、 $\pi\pi \rightarrow \pi\omega$  散乱の場合、次の様に見える。

$$F(s, t) = f \left[ \frac{\Gamma(1-\alpha(s))\Gamma(1-\alpha(t))}{\Gamma(2-\alpha(s)-\alpha(t))} + (s \leftrightarrow u) + (t \leftrightarrow u) \right]$$

ここで、 $F(s, t)$ は、 $\pi\pi \rightarrow \pi\omega$ の invariant amplitude、 $\Gamma$ は、 $\Gamma$ -function、 $\alpha(s) = \alpha' s + \alpha_0$ は  $\rho$ -Regge trajectoryである。この時、 $F(s, t)$ は次の様な性質をもっている。

- 1) crossing symmetry, high energyでのRegge behavior, FESRをみたす。
- 2) 全エネルギー領域にわたってのmodelである。
- 3) local dualityをみたす。
- 4) unitarityはみたさない。
- 5) uniqueではない。

このように見ると、4) 5)の様な問題点は含んでいるが、1) 2) 3)の様な多くの長所をもち、しかも、非常に簡単なmodelである、と言う意味で画期的なmodelであると考えられる。実際、その後多くの人々により、色々な角度から調べられて来たし、現在でも調べられている。

この論文の目的も、Veneziano Model (以下V.M.と略記)を中間子系に应用する事により、V.M.のもつ物理的性質とか、問題点とか、又どれ位 realisticであるか等々を調べる事である。

## 第2章 $P_8 - P_8$ 散乱への応用

この章では、第3章以下で必要となる程度に、 $P_8 P_8$  散乱への応用から得られる結果について簡単なレビューをした。主に、normal parity ( $P = (-1)^J$ ) trajectory のもつ性質 (coupling constant mass の関係) についてのレビューをした。

特徴的な結果は、normal parity trajectory (少なくとも leading に関しては) は、SU(3) nonet 的な構造をもっている事である。

## 第3章 $P_8 - V_9$ 散乱への応用

この章では、 $P_8 V_9$  散乱へV.M.を应用する事により normal 及び abnormal parity ( $P = -(-1)^J$ ) trajectory の性質を共に調べ、又 spin による複雑さがV.M.にどの様に影響するかを調べた。

仮定

- 1) crossing symmetry
- 2) linear Regge trajectory,  $\alpha(s) = \alpha' s + \alpha_0$  trajectory の universal slope
- 3) high energy で正しく Regge behavior を示す。

- 4) exotic resonance なし
- 5) Pomeron は別あつかいにする
- 6) simplicity

ここで、寄与する leading trajectory として次のものを仮定する。

$$\begin{aligned} \text{normal parity ; } & 1^- (\rho \cdot K^{*} \cdot \omega \cdot \phi), \quad 2^+ (A_2 \cdot K_N \cdot f \cdot f') \\ \text{abnormal parity ; } & 0^- (\pi \cdot K \cdot \eta \cdot \eta'), \quad 1^+ (A_1 \cdot K_A \cdot D \cdot E) \end{aligned}$$

この時、仮定4) から、次の様な exchange degeneracy scheme が得られる。

$$\begin{aligned} \text{i) } & \alpha_\rho(t) = \alpha_{A_2}(t) = \alpha_\omega(t) = \alpha_f(t) \\ & \left\{ \begin{aligned} \alpha_{K^{*}}(t) &= \alpha_{K_N}(t), \quad \alpha_\phi(t) = \alpha_{f'}(t) \\ \alpha_\pi(t) &= \alpha_{A_1}(t), \quad \alpha_\eta(t) = \alpha_D(t) \\ \alpha_K(t) &= \alpha_{K_A}(t), \quad \alpha_{\eta'}(t) = \alpha_E(t) \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

さらに、1) ~ 6) の仮定から、 $P_8 V_9 \rightarrow P_8 V_9$  の V.M. を作ると次の様な結果が得られる。

- ii)  $\omega - A_2$  trajectory に対し、 $\pi \rho$  Veneziano 振巾は、parity doubling を含む。
- iii) normal parity trajectory に関する coupling constant ( $V_9 P_8 P_8$ ,  $V_9 V_9 P_8$ ,  $T_9 V_9 P_8$ ) の間の多くの関係式が得られる。これらはすべて S U(3) nonet 的構造をもっている。特に、 $\rho$ -meson の universal coupling  $g_{\rho\pi\pi} = 2 g_{\rho KK}$  も得られる。
- iv) abnormal parity trajectory に関しては次の sum rule が得られる。

$$g^2_{\omega\rho\pi} - 8 \alpha' g^2_{\rho\pi\pi} = G_D^2$$

normal parity trajectory (少なくとも leading に関して) に関しては、多くの情報が得られ、これらはすべて reasonable である様に思われる。しかし、abnormal parity trajectory に関しては、daughter についての議論をしなければ iv) で得られた以上の情報は得られない。又、外線の粒子の spin が高くなると、ii) で述べた様な parity doubling 等の問題が生じ、散乱振巾が非常に複雑になる事もわかった。

#### 第4章 Form Factor への応用

この章では、normal parity trajectory だけが寄与する process に対する V.M. を用いて hadron の non-strong form factor を計算した。

最初に  $K_{13}$  decay form factor を計算した。 $K_{13}$  decay form factor は次の様に定義される。

$$\begin{aligned} & \langle \pi^0(q) | V_\mu^{\Delta s=1} | K^+(k) \rangle \\ & = \frac{1}{\sqrt{4 q_0 k_0}} \frac{1}{\sqrt{2}} [(k+q)_\mu f_+(q) + (k-q)_\mu f_-(q)] ; s = (k-q)^2 \end{aligned}$$

この matrix element の imaginary part の中間状態を lowest mass state ( $\pi K$ ) で近似した。この時、form factor  $f_+(s)$  は、 $\pi K$  散乱の  $P$ -波 partial wave amplitude の  $D$ -function から求め、 $f_-(s)$  は P C V C を仮定して求める。 $\pi K$  散乱振巾として V.M. を用い、partial wave に展開する時、有限数の pole で近似した。

結果は、実験とは必ずしも矛盾しないが、実験データがまだ不充分である。又、Veneziano 振巾を partial wave に展開する時、有限コ の pole しかとり入れていないため、V.M. の check としてはそれほど有力ではない。

そこで次に、proton の magnetic form factor  $G_M^p(t)$  に対し、無限コ の pole を含む様な model を導入し、現象論的分析を行った。ここでは次の2つの type をとった。

$$i) G_M^p(t)/\mu = \gamma \frac{\Gamma(1/2 - 1/2 \alpha(t))}{\Gamma(\beta + 1/2 - 1/2 \alpha(t))}$$

$$ii) G_M^p(t)/\mu = \gamma \frac{\Gamma(1 - \alpha(t))}{\Gamma(\beta + 1 - \alpha(t))}$$

ここで、 $\alpha(t) = \alpha' t + \alpha_0$  は、 $\rho - \omega$  Regge trajectory である。 $\alpha'$ 、 $\alpha_0$ 、 $\beta$  を free parameter として分析した。結果は、i) ii) 共に、Regge parameter  $\alpha'$ 、 $\alpha_0$  を reasonable な値にとった時、実験との非常に良い一致を見た。 $(\frac{9}{4} < \beta < \frac{5}{2})$

この事実は、V.M. の間接的な support の1つと考えられる。

## 第5章 $\pi\pi$ 散乱への応用

最近、 $\pi\pi$  散乱の low energy data ( $\sqrt{s} < 2 \text{ GeV}$  の  $\sigma_{\text{tot}}, \sigma_{\text{el}}$ ) が出された。そこで、この章では、V.M. を用いて、 $\pi^+ \pi^-$ 、 $\pi^+ \pi^0$  total cross section を計算し、直接実験データと比較した。この時 V.M. に対する何らかの形での unitarization が必要となる。この問題は、いまだ未解決の問題であるが、ここでは一番簡単に trajectory  $\alpha(s)$  に imaginary part をもたせる事により、resonance に全巾をもたせ、"effective" に unitarize した。

最初、V.M. として original Lovelace-Veneziano form をとった。しかし、この model の場合  $\rho$  とその daughter  $\epsilon(0^+)$  の巾の関係を調べて見ると  $\Gamma_\rho^{\text{el}}/\Gamma_\epsilon^{\text{el}} = x_\rho \Gamma_\rho^t/x_\epsilon \Gamma_\epsilon^t = 2/9$  となる。我々の effective unitarization の場合、 $\Gamma_\epsilon^t = \Gamma_\rho^t$  故、 $x_\rho/x_\epsilon = 2/9$  となり、unitarity を破ってしまう。つまり、original Lovelace-Veneziano model では、実験を再現出来ない事わかった。

そこで次に我々は次の様な satellite term をもった V.M. を考えた。(original Lovelace-Veneziano model につけ加える。)

$$\frac{\Gamma(1 - \alpha(s)) \Gamma(1 - \alpha(t))}{\Gamma(2 - \alpha(s) - \alpha(t))}$$

この時 original Lovelace-Veneziano model の場合と比べて、1つ parameter がふえる。この parameter は、 $\pi^+ \pi^-$  total cross section の  $\rho$  の位置での高さから決めた。次に optical theorem を用いて、 $\pi^+ \pi^-$ 、 $\pi^+ \pi^0$  の total cross section ( $\sqrt{s} \lesssim 2 \text{ GeV}$ ) を計算した。結果は、大体実験を再現している様に見える。

次に、threshold で振巾の real part を計算し、scattering length を求めた。この時、Pomeron の寄与をも考えた。Pomeron の寄与は、Once subtracted dispersion relation を用いて estimate した。得られた  $\pi\pi_s$  波 scattering length の値は、current algebra から得られたそれと consistent

である。又、この値を用いて threshold での  $\sigma_{el}$  を計算し、上で求めた  $\sigma_{tot}$  の threshold での値と比較し、threshold unitarity を調べた。その結果、大体 threshold unitarity は満たされている事がわかった。

## 第6章 Discussion

この章では、この論文全体を通じての議論及びこの論文では直接議論されなかった事をも含めた V.M. に対する問題点等についての議論をした。結果を整理すると次の様になる。

A) V.M. に対する support と考えられる事実

- 1) parallel daughter trajectory の存在
- 2) normal parity trajectory の SU(3) nonet structure
- 3) non-strong process への応用
- 4) chiral symmetry の破れの強さを出す
- 5) scattering length の prediction
- 6) Adler の条件を加える事による mass の量子化
- 7) Regge parameter の fix
- 8) KN,  $\pi N \rightarrow \eta N$ , final 3 体の meson-baryon 散乱への応用
- 9) その他

B) 問題点及び困難

- 1) abnormal parity trajectory をどうするか
- 2) parity doubling
- 3) unitarization
- 4) Pomeron をどうするか
- 5) narrow resonance 近似の物理的意味
- 6) 一般に meson-baryon, baryon-baryon 散乱への応用
- 7) V.M. の non-uniqueness の問題
- 8) V.M. の基礎となっている Regge pole model における問題点
- 9) その他

Appendix

appendix では、VPP, TPP, VVP, TVP,  $A_{10}\pi$  coupling constant の定義が与えられている。

参考論文

- (I) Pseudoscalar-Vector Scattering and the Nonet Scheme in the Veneziano Model Prog. Theor. Phys. **42** (1969), 1151, with K. Itabashi, Y. Kohsaka and F. Takagi.
- (II) Veneziano-Type Amplitude for  $\pi K$  Scattering and the  $K_B$  Decay Form Factors, Prog.

Theor. Phys. **42** (1969), 132, with T. Akiba.

- (II) Phenomenological Analysis of the Infinite Resonance Model for the Nucleon Electromagnetic Form Factor, Prog. Theor. Phys. **44** (1970), 1096 with F. Takagi.
- (IV) Remarks on the Simple Quark Model for Nonleptonic Hyperon Decays, Prog. Theor. Phys. **39** (1968), 1081, with A. Toda.
- (V) Nonleptonic Hyperon Decays in the Covariant Chiral  $U(6) \otimes U(6)$  Scheme, Prog. Theor. Phys. **41** (1969), 166, with K. Itabashi.
- (VI) Phenomenological Analysis of the Asymptotic Behavior of the Nucleon Electromagnetic Form Factor, Prog. Theor. Phys. **44** (1970), 1291, with F. Takagi.

## 論文審査結果の要旨

三宅章吾の論文は Veneziano によって提唱された散乱振巾の構成法を中間子系に適用するために種々の拡張や改良を行い、またその結果によってこの方法の妥当性を検討しようとしたものである。第一部ではギスカラー中間子とベクトル中間子の散乱に対して Veneziano 振巾をつくり、Veneziano の方法を高スピン粒子の散乱に拡張するための方法を見出すと共に、いわゆる abnormal-parity Regge trajectories に対する情報を得ようとした。これによって normal-parity trajectory 上の粒子の結合定数に対する多くの関係式を得ると共に、abnormal-parity trajectory 上の粒子の結合定数に対して1つの関係式を得ることができた。

第二部ではまず  $K_{13}$  崩壊の form factors に対して、Veneziano 模型によって要求される  $2, 3$  の  $\pi$   $K$  共鳴の位置と巾を考慮した計算を行った。結果は現在の実験データと矛盾しないが、理論の当否の判定にはまだ実験データが不足である。次に陽子の magnetic form factor に対して Veneziano 模型から期待されるガンマ関数の商の形を仮定して実験データの解析を行った。その結果この形によって、momentum transfer の値の現在実験の行われている全範囲に亘って、特にその値の小さい処に見られる微細構造まで含めて、よく実験と合わせられることを見出した。またそのために要求されるパラメータの値が散乱から要求されるものと両立し得ることを示した。

第三部では Veneziano 振巾の欠陥であるユニタリ性の欠除を最も簡単な仕方で改良し、これによって  $\pi\pi$  散乱の実験を説明することを試みた。その結果、実験と合わせるには少くとも1つの satellite term を付け加えなければならないこと、振巾の実部分に Pomeron の効果をいれて振巾が対称点で零になることを要求すると threshold におけるユニタリ性が実際よくみたされることを見出した。

以上によって三宅章吾の論文は素粒子理論にいくつかの新知見を加えると同時に著者の十分な研究能力を示しており、理学博士の学位論文として合格とみとめる。