

氏 名	石 田 晋 いしだ しん
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 3 3 号
学位授与の日付	昭 和 36 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科・専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Pion-Nucleon Scattering and Pion-Pion Interaction (π 中間子・核子散乱と π 中間子・ π 中間子相互作用)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 湯 川 秀 樹 教 授 小 林 稔 教 授 林 忠 四 郎

論 文 内 容 の 要 旨

低エネルギー π 中間子と核子との相互作用において、S-波散乱の問題は未解決であり、 π 中間子論の主要な課題の一つである。すなわち通常の擬スカラー型の核子、 π 中間子相互作用を仮定すると、荷電スピンのよる相互作用が強過ぎて、荷電スピン 3/2 の状態と 1/2 の状態とに対する散乱位相のずれの実験値を説明することは、摂動論では不可能である。この現象に関して高次補正を考慮する立場、中間子間の相互作用を仮定する立場等があるが、いまだ決定的な解決をみていない。

著者は、S-波散乱の現象において、後者の立場に立ち、 π 中間子と核子のまわりの中間子雲との相互作用（以下では π - π 相互作用と呼ぶ）が重要な役割を果すことに着目して問題の解決をはかろうとするものである。すなわち、擬スカラー型 π 中間子、核子の相互作用を仮定し、非相対論的近似で effective Hamiltonian を作ると、いわゆる core term が出るが、この項は非常に大きく、かつ荷電スピンのにはよらない。S-波散乱における理論と実験との不一致はこの項に起因する点に着目して、著者は π - π 相互作用を仮定して core term の影響を打ち消させて、残りの部分で荷電スピン 3/2 と、1/2 との状態の散乱位相のずれの差を説明するのである。

このような考えに立つ研究は、かつて河原林・宮沢によってなされたが、かれらは core term の広がりを π 中間子コムプトン波長の半分という異常に大きい値を仮定していた。しかるに核子、反核子相互作用および核力の分析からみられるようにこの値は異常に大きい。著者はこの点の改良をはかり、core term の広がり、 π - π 相互作用の広がりとを種々変化させた場合を詳しく吟味して、core term の広がりを π 中間子コムプトン波長の約 1/5、 π - π 相互作用の広がりをその約 1.4倍にとれば 300MeV 以下のエネルギーの S-波 π 中間子、核子散乱の実験をもっともよく説明し得ることを明らかにしたのである。このように core term の広がりをほぼ核子コムプトン波長程度にとることは理論的にも妥当なことを考えられる。

著者の具体的な計算方法は、 π - π 相互作用および π -N擬スカラー型相互作用より出発して effective

Hamilton をつくり、 π 中間子に対する方程式を導き、散乱振幅を求めるのである。この際、源関数を非局所的可分の型にとるという近似を行なうと、積分方程式の厳密解が求まり、くりかえしの影響をとりいれることができ、上述の結論を導いたのである。

著者はまた、このようにして決めた π - π 相互作用の強さが、 π 中間子による π 中間子発生の現象に対しても妥当な値であることを指摘して、 π - π 相互作用が存在することの一つの傍証としている。

著者はさらに、 π - π 相互作用が p-波散乱の現象に対しても有効な役割を果たし、最初に述べた core term からの寄与が荷電スピン 3/2、角運動量 3/2 の状態にも大きい影響をもち、 π - π 相互作用でこの寄与を打ち消さねば実験的に確立されている共鳴現象が起こらぬことを指摘した。このことは π - π 相互作用に対する第二の傍証と考えられる。さらに、著者は荷電スピン 3/2、角運動量 3/2 以外の状態に対する、小さい p-波散乱の位相のずれも求めているが、この点については実験値もいまだ正確ではなく、はっきりした結論を出す段階には至っていない。

以上の諸現象の分析検討の結果、著者は、低エネルギー π -N 散乱に対して、 π - π 相互作用が重要な影響をもち、その考慮が理論と実験との矛盾の解決に役立つことを明らかにしたのである。

論文審査の結果の要旨

主論文は、低エネルギー π 中間子・核子 S-波散乱を取り扱い、 π - π 相互作用を仮定することにより、理論と実験との矛盾を解決し、中間子論主要課題の一つを解決しようとするものである。

S-波 π 中間子、核子の散乱現象は、低エネルギーであるにもかかわらず、核子対を含む現象であるため、理論的な分析は困難で、擬スカラー型 π -N 相互作用だけから出発して高次補正を考えた計算もあるが、いまだ実験事実をよく説明し得る段階には到達していない。これに対して本論文では π - π 相互作用の存在を仮定して、擬スカラー型相互作用から得る core term の影響を打ち消させるのである。この core term は荷電スピンにはよらず、その影響の大きすぎるのが、摂動論で求めた S-波散乱の位相のずれが荷電スピン 1/2 および 3/2 の状態に対して同符合で、実験値の 10~100 倍になる原因をなしていた。したがって π - π 相互作用によりこの影響を打ち消し、残りの相互作用で S-波散乱の実験を説明することは有効な研究方法の一つと考えられる。従来もこの考えに基づく研究はあったが、その際 core term の広がりには $\hbar/2\mu c$ (μ は π 中間子質量) 程度の大きい値がとられていた。一方核力の分析から得られる hard core の広がりはこの値の半分程度で、核子、反核子相互作用の分析からみてもこの値は大き過ぎると思われる。そこで本論文では、core term の広がり、 π - π 相互作用の広がりをパラメーターとして、その種々の値について詳細な吟味をした。計算の方法は π -N 間の擬スカラー型相互作用と π - π 相互作用とを考慮して、effective Hamiltonian を作り、源関数に非局所的可分な型をとる近似を行ない、その後は散乱積分方程式を厳密に解いている。その結果、高次の繰り返しの影響を要領よくまとめることができ、上述のパラメーターの関数として、散乱長 (scattering length) および散乱の位相のずれを解析的に表わすことに成功した。そして実験値との比較の結果、core term の広がりを $\hbar/5\mu c$ 、 π - π 相互作用の広がりを $\hbar/3.5\mu c$ とした場合がもっともよく実験結果を再現することを見出したのである。core term の広がりがほぼ核子のコンプトン波長でよいという結果は、他の諸現象を考慮しても妥当な結論であると思われる。

さらに、 π - π 相互作用の強さに関しては、本論文ではS-波散乱より $\lambda/4\pi \cong 0.4$ を得ている。 $\pi+N \rightarrow 2\pi+N$ の過程では、擬スカラー型相互作用のみではふじゅうぶんであることが以前よりわかっており、この点からも π - π 相互作用の存在が推定されていた。上述の結果は、この過程に対しても半定量的に妥当であると判定される。

さらに本論文では、 π - π 相互作用の p-波散乱におよぼす影響を詳細に吟味して、 π - π 相互作用がなければ、荷電スピン 3/2, 角運動量 3/2 の状態での共鳴現象が説明し得ないことを指摘している。

以上のように、本論文では種々の角度より π - π 相互作用の影響を詳細に検討して、S-波散乱、 π -2 π 過程より π - π 相互作用の存在を明らかにしたのである。

参考論文その1は、半古典的な方法 p-波 π -N 散乱を論じたもので、従来のこの方面の研究で仮定されていた物理的にあいまいな条件を除き、数学的に正しい取り扱いをすると、静的模型とは異なる結果しか得られないことを指摘している。

参考論文その2（磯親、佐藤正知と共著）においては、超高エネルギー現象における多重発生の問題を取り扱い、Landau による流体力学的モデルでも、丹生その他による2中心モデルに近い結果を導き得ることを示している。

参考論文その3においては、従来の多重発生現象の統計理論では粒子間の相関を考慮していないが、その点の改良をはかる一つの方法を示している。

以上、石田 晋の論文は π 中間子論および超高エネルギー現象の解明に着実な成果を収めており、理学博士の学位論文として価値があるものと認める。

〔主論文公表誌〕

Progress of Theoretical Physics, Vol.24 (1960), No.6

〔参 考 論 文〕

1. Remarks on the Final State Interaction in Fermi's Theory of Multiple Particle Production
(粒子の多重発生に関するフェルミ理論の終状態相互作用についての注意)

公表誌 Progress of Theoretical Physics, Vol. 22 (1959), No.2

2. Comparison Between Hydrodynamical Model and Fire Ball Model in Multiple Production of Particles

(粒子の多重発生に関する流体力学的模型と火の玉模型との比較)

(佐藤正知ほか1名と共著)

公表誌 Proceedings of the Moscow Conference on Cosmic Ray Physics, Vol.1 (1960)

3. On the Semi-Classical Treatments of the Meson -Nucleon Scattering

(中間子核子散乱の半古典的取り扱いについて)

公表誌 Progress of Theoretical Physics, Vol.24 (1960), No.6