学位論文顥名

A new coherence in afield theoretical approach to neutrino oscillations

(ニュートリノ振動への場の理論的アプローチと新たなコヒーレント効果)

学位論文内容の要旨

本論文では、"ニュートリノ振動"の現象に場の理論的立場から定量的な考察を行った。

基本粒子の一つであるニュートリノは電荷ゼロの粒子であり、現在の標準 的な素粒子論では質量もゼロとみなされている。 しかし近年 "太陽ニュート リノ問題"、"大気ニュートリノ問題"の中で小さいとは言え、ニュートリノが 質量をもつ可能性が指摘され注目を集めている。 これらの問題では、特にニ ュートリノが混合質量を持つとき生じ得るフレーバー空間での振動現象が問題 解明の鍵となっている。この"ニュートリノ振動"については、既に約30年 前ポンテコルボによって議論され、その周期、振幅を含めて理論的に考察され ている。この考察は、ニュートリノがその生成から検出まで一体問題的に扱わ れるとして、量子力学的な基礎によってなされたものである。 しかし実際の ニュートリノは電磁相互作用をせず、質量もあったとしても極めて小さく、そ の生成、検出はニュートリノに随伴する電子などの荷電レプトンによって間接 的に行われるしかない。 このニュートリノ特有の条件から、その生成から検 出まで自由に運動する場合でも、多体問題的扱いが不可欠となる。1990年代 に入り、この観点から"ニュートリノ振動"へ場の理論的にアプローチする試 みがいくつか為されている。 そこで用いられている方法論は、始状態-終状 態の時間間隔を無限大にとり、 wave packet を用いたものである。

しかし、ニュートリノのように電磁相互作用をせず質量も極めて小さい(質量ゼロでないとしても)粒子の場合、有限時間間隔でも混合質量に起因する振動現象が観測される可能性がある。

この観点から、本論文では、従来の場の理論的アプローチとは異なり有限時間間隔のもとに理論考察を行い、簡単なモデルを用いたコンピュータの数値計算を行った。その結果有限時間内でも減衰振動の形で振動現象が現れることを見出した。 その振る舞いは、ポンテコルボの振動公式とは異なり、また場

の理論的になされた過去の考察結果とも異なる。特に、計算結果から振動周期を含めた定量的な相違が示唆されているので、現在進行中である"スーパーカミオカンデ"の長基線実験等の実験結果に基づくニュートリノ混合質量の正確な解析のための理論的基礎に関わる可能性がある。

本論文では、粒子はすべてボゾンとし、相互作用も簡単化したモデルを用いた。 実際の実験状況により近いモデルで本研究を発展させるのが今後の課題である。

学位論文審査の要旨

主 杳 教 授 石 川健 杳 教 授 河 本 昇 副 授 宏 教 和 \mathbf{H} 阊 杳 木 久 男 副 杳 助教授 鈴 庿 彦 副 講 末 査 師

学位論文題名

A new coherence in afield theoretical approach to neutrino oscillations

(ニュートリノ振動への場の理論的アプローチと新たなコヒーレント効果)

1930年代に物質の崩壊に際してエネルギー保存則を成立させるために理論的に予言 され、現在異なる3種類のものの存在が確認されているニュートリノは、太陽のエネル ギー源である核融合等では不可欠な役割をしているが、電荷を持たず他の物質とは極め て弱く相互作用する素粒子である。ニュートリノが質量を持つのかどうかは当初からの 未解決の問題である。もし質量を持つならば、複数のニュートリノ間で混合が起きると 考えるのが自然である。この混合をテストするいくつかの実験が最近始まった。この実 験では、数100kmの距離ニュートリノを走らせ、その間に一つのニュートリノ のニュートリノへと変換される振動現象を観測する。 ニュートリノ振動の振幅に対して今まで与えられている標準的公式では、ニュートリ ノが直接観測にかかると仮定されている。これが直接観測にかかるものではないことを 考慮に入れた時振動現象はどのように観測されるのか、についての研究は今まで皆無に 近い状況であり、この時の振動に関する研究が待たれていた。 本研究では、ニュートリ **ノが電荷を持たず物質との相互作用が極めて弱いため直接観測にかかる粒子ではないこ** とを考慮に入れた場の理論的方法に基づきニュートリノ振動を解析した。この新しい方 法ではニュートリノを近似的にrealな、virtual状態として取り扱い、ニュートリノが物 質と相互作用したときの生成粒子の観測をとうしてニュートリノ振動に関する情報を得る。粒子崩壊により生成されるニュートリノが物質と衝突し、その結果生成される粒 子にたいする量子力学的振幅並びにその絶対値の二乗を求め、よってこのような現象の 発現確率を求めた。これらの粒子の一部は不安定であり、また運動量の近似的な固有状態である波束をなしている。本論文で著者は波束の大きさ、ニュートリノの質量、測定器の大きさ等のパラメーターに依存する結果を与えた。特に運動量の固有状態に対する話振幅から得られるニュートリノ振動の結果はいままで使われてきた振動の振る舞いた。 とは大きく異なるものであり、測定時間間隔を無限に大きくしたときは干渉効果が消失する。これはこの時エネルギー保存則が厳密に成立するため、異なる質量状態に対する 振幅間の干渉が消えるためである。この結果は、無限の測定時間間隔で有限な干渉効果 を与えていた従来の標準的公式とは異なるものである。一方有限の時間間隔では干渉が現れ、質量等のパラメーターに依存する大きさを持つ。運動量の固有状態からずれ、一部の粒子が有限な寿命を持っている現実の実験の状況では、従来の公式がそのまま成立 することもある。ニュートリノ振動の実験は始まったばかりであり、未だパラメーター することもめる。 - ユートリノ振動の夫厥は知まったはがりてめり、不たバックの値のすべてが詳細にわかっているわけではない。このため、様々な可能性を念頭におき比較、検討を行うことが不可決である。いままで考慮されていない効果について解析した今回の研究の意義は大きい。よって今回得られた結果は、基本的な問題を含むニュートリノ振動現象にたいして新しい知見を与えるものである。

これを要するに、著者は物質と極めて弱く相互作用する素粒子であるニュートリノの振動現象に対して新しい観点からの計算を行い、ニュートリノ振動に対して新しい物理効果の解明を行ったものである。これは素粒子物理学並びに量子力学の 物理の理解に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者が北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。