

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	梅枝 宏之
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 ①・2 項該当		
論文題目			
Time Reversal Violation through B Meson Mixing (B 中間子混合を通じた時間反転対称性の破れの研究)			
論文審査担当者			
主 査	准教授	両角 卓也	
審査委員	教 授	大川 正典	
審査委員	教 授	小 嶋 康史	
審査委員	教 授	杉立 徹	
〔論文審査の要旨〕			
<p>自然界の時空反転に関する変換に 2 つの離散変換がある。それはパリティ (P) 変換と時間反転 (T) 変換である。本研究論文はこのうちの時間反転の破れに関する理論研究である。</p> <p>相対論的な場の量子論は、粒子に対して反粒子の存在を予測する。粒子と反粒子を結び付ける変換を荷電共役 (C) 変換と呼ぶ。これに P と T の変換を合わせた、3 つの離散変換に対する物理法則の不変性が、素粒子の基本相互作用に関して調べられてきた。パリティおよび C 変換は弱い相互作用において、破れていることがわかった。1960 年代に CP 対称性の破れが実験的に観測され、小林、益川によって標準模型の枠組みに CP 対称性の破れが導入された。その後、この理論が精密に検証されている。</p> <p>CP 対称性の破れは、どのような意味をもつのだろうか？相対論的な場の量子論は上述の 3 つの離散変換を連続して行った CPT 変換に対して不変である。CPT 不変な理論において CP 対称性の破れは、時間反転 (T) 対称性の破れも意味する。</p> <p>では、実験的にどのように時間反転対称性の破れを検証したらよいだろうか。量子論的には、ある始状態から一定時間を経て終状態へ遷移する確率と始状態と終状態を入れ替えたプロセスの起きる確率の違いを観測すればよい。</p> <p>このような始状態と終状態を入れ替えた遷移確率の差は時間反転に対して符号を変えることから T odd 非対称度と呼ばれる。現実には素粒子の反応過程は、一つの素粒子の複数の粒子への崩壊過程を含むため、その時間反転過程を厳密に実現することは困難である。</p> <p>時間反転対称性の破れを検証するための方法として中性中間子混合を用いる方法がある。これは中性 K^0 中間子からその反粒子 \bar{K}^0 中間子への遷移確率とその逆過程の遷移確率の差を測る方法である。この確率の差は、CP 変換に対しても符号を変えるため、この差が零でない値をとった場合、CP 対称性の破れとも解釈できる。</p> <p>スタンフォード大学の Babar 実験グループは、CP 対称性の破れとは独立な、純粋に時間反転の破れと考えられる現象を中性 B 中間子混合実験によって発見したと主張した。</p> <p>この実験に対して計測した時間反転の破れに関する非対称度が、真の時間反転とは厳密には異なるという主張が理論家から指摘された。すなわち Babar 実験で測定している非</p>			

対称度は厳密には T odd な非対称度ではないことが明らかになった。では、Babar 実験などで測定している非対称度は厳密な T odd 非対称度とどのようにずれているのか。また、ずれの要因はなにかということが議論になった。

本学位請求論文は、上記の時間反転に関する最近の理論、実験研究を背景にして、「 B 中間子混合を用いた時間反転対称性の破れに関する精密な議論」を展開している。

また、標準理論ではよく成立している「素粒子反応の選択則」や「 CPT 対称性」の破れの効果などを特定のモデルに依らない形で導入することにより、これらの新物理の効果を観測量から抽出する方法を提案している。

特に本研究論文で明らかになった重要な点は、つぎのとおりである。Babar 実験で採用している非対称度の表式は、その時間の関数として、中性 B 中間子混合の振動周期をもつ正弦、余弦関数で与えられている。これに対して、本研究においては、考えられる最も一般的な時間依存性をもつ非対称度を採用し、この非対称度の時間反転変換に対する性質を研究している。この非対称度には、Babar 実験では考慮されていない、時間に依存しない定数部分などが含まれている。最も一般的な非対称度の表式の、時間反転に対する変換性を調べることによって、異なる時間依存性を持つ各項の係数は、 T odd な項と T even な項の両方を含んでいる。これに基づいて、 T even な寄与が混ざってくる原因を特定している。さらに、複数の非対称度の組み合わせをとることで、「ロングサイン崩壊振幅」や「 CPT の破れ」の大きさなどの新物理の効果を抽出し、これらに対して、観測量から制限をかける方法を提案している。このほかに、中性 K 中間子が CP 変換に対する固有状態からずれている効果も考慮することで、議論を精密化している。

本研究論文の大きな意義は、提案している非対称度は、 B ファクトリー実験などの将来実験で測定可能なもので、新物理の効果を実験的に探索し、その結果に基づいて、制限をかける方法を具体的に示した点にある。また、測定量が真の時間反転の破れとどのようにずれているかを議論し、その要因を特定することで、真の時間反転非対称度を測定することの原理的な難しさを明らかにしている。これに関して、提案している非対称度が真の時間反転非対称度に一致するための条件を考察している点も興味深く、評価できる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

Precise discussion of time-reversal asymmetries in B⁻ meson decays

Takuya Morozumi, Hideaki Okane and Hiroyuki Umeeda

Journal of High Energy Physics 1502, 174 (2015) 1-28

参考論文

Quark sector CP violation of the universal seesaw model

Ryomu Kawasaki, Takuya Morozumi and Hiroyuki Umeeda

Physical Review D 88, 033019(2013) 1-16