

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007 ~2009

課題番号：19540253

研究課題名 (和文) 太陽ニュートリノによる月の構造解析

研究課題名 (英文) Analysis of Moon by mean of Solar neutrino

研究代表者

石川 健三 (ISHIKAWA KENZO)

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：90159690

研究成果の概要 (和文) : 太陽内の核融合反応で生じたニュートリノを利用して月の内部構造を探る解析法を、理論的に確立するのが本研究の目的である。ニュートリノは、物質と非常に弱い相互作用をする物質であり、制御することはほとんど不可能である。そのため、自然状態で作成されたニュートリノの性質を解明しておくことが、ニュートリノを使う解析にとって不可欠である。太陽ニュートリノの性質解明がなされ、月の内部を解析するためのニュートリノの解析法が、理論的に確立した。この際、干渉で重要な働きをするニュートリノのコヒーレンスに関する理論が、展開された。

研究成果の概要 (英文) : Method for analyzing the neutrino from the sun which penetrates the moon is established. Neutrino interacts with matter extremely weakly and it is hard to control. Our project uses coherent interaction of the neutrino with matter. The coherent interaction of the neutrino with the Moon makes the phase shift to be about π and is used. For the practical purpose of Moon analysis, however, the present neutrino detector is not sufficient due to the short period of eclipse, i.e., a few minutes. So better detector with high efficiency of detection is necessary.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：素粒子物理学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・核・宇宙線理論

キーワード：ニュートリノ、太陽ニュートリノ、日食、ニュートリノ干渉、質量、ニュートリノ振動、量子ホール効果

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノは、ベータ崩壊における生成

物として、パウリにより仮説的に導入されてから約70年を経て、質量をもつことが初め

てニュートリノ振動実験により確認された。ニュートリノ振動は、太陽ニュートリノ、原子炉ニュートリノ、加速器ニュートリノ、大気ニュートリノによる観測により詳細に検討され、ニュートリノが有限の質量をもつときに起きる現象であることがほぼ確認された。これらのニュートリノ振動実験により、質量の2乗の差については、相当の精度で分かるようになった。さらにニュートリノの諸性質を詳細に調べることを目指す実験が世界的に始まった。これらは、おもにニュートリノの質量、混合角、CPの破れ、マヨラナニュートリノの探索、等のニュートリノの精密な諸性質を解明することを目指している。ニュートリノの質量は、他の物質の質量よりはるかに小さいものであることより、何らかの新しい物理と関連していることが予想される。ニュートリノを使う物質内部の構造解析等も考察されつつあった。

2. 研究の目的

(1) ニュートリノが、物質と極めて弱い相互作用をすることをを使い、通常の観測手段で使用する電磁波では見ることの出来ない星の内部等の構造解析の実験的な方法を理論的に確立するのが、研究の目的である。ニュートリノは、物質との相互作用が極めて弱いため、星、地球等の内部を探ることを可能にするわけであるが、同じ弱い相互作用は、ニュートリノの観測を極めて困難なものにすると共に、ニュートリノのコントロールを難しくする。また、ニュートリノの源は、非常に限られたものになる。ニュートリノの源の中で、地球近辺で最も強度の強いのは太陽ニュートリノであり、本研究では太陽ニュートリノを使用することを念頭におく。太陽は、核融合により莫大なエネルギー生成を常時行っている。同時に、核融合反応では、常時ニュートリノが作られている。太陽ニュートリノで確立した欠損は、物質の効果によるニュートリノ振動が起源であることが確立した。

(2) ニュートリノは、物質との弱い相互作用のため、地球や月の内部をほぼ自由に素通りする。しかし、月における個々の原子核との独立な反応は、極めてよわいが、月全体とのコヒーレントな相互作用については、位相の変化がある。このコヒーレントな、相互作用によるニュートリノの干渉効果を使い、月を通過する際のニュートリノの観測値の変化から、月の内部の構造解析を行う方法を理論的に確立すること。

3. 研究の方法

(1) 太陽ニュートリノが、日食中に月を通過して地球に到達する際のフラックスの変化から、月の内部におけるニュートリノの散乱

を明らかにして、月の内部の情報を得る。本研究はこれらの方法を検討する理論研究で

(2) 太陽ニュートリノの波としての性質をまず解明する。太陽内の反応で生成されるニュートリノは、厳密には波束である。相互作用が極めて弱いニュートリノは、生成されるときに性質がそのまま伝播されるが、測定は一方で量子力学的な過程であるため、その解析も必要である。

(3) 太陽ニュートリノの月との相互作用を明らかにする。ニュートリノは、物質と極めて弱く相互作用し、通常の各原子核との独立な相互作用は小さいが、物質全体とのコヒーレントな相互作用は、大きくなる。このコヒーレントな、物質との散乱による干渉を明らかにする。

(4) 高い性能を持つニュートリノの測定器が、観測実験には必要である。現状の性能をはるかに超えるニュートリノ測定器の可能性を、同時に検討する。

4. 研究成果

(1) 干渉実験に太陽ニュートリノを使用するには、太陽ニュートリノのコヒーレンスに関する情報が必須である。ニュートリノのコヒーレンスを調べるための理論的な方法が確立した。ニュートリノのコヒーレンスの性質は、生成機構に依存する。太陽の内部の中心部は、高い温度で高密度からなるプラズマ状態であり、荷電粒子はクーロン散乱で相互作用している。これら荷電粒子は、散乱のために平均自由行程は、セミマイクロな値を持つ。これを反映し荷電粒子の反応で生ずるニュートリノは、セミマイクロな大きさの波束で表わされる。この大きさは、MeV領域のニュートリノのドブロイ波長より5ケタ以上長い。そのため、MeV領域のニュートリノは、平面波とみなして問題ない。

(2) 固体中の原子核のベータ崩壊で生ずるニュートリノは、太陽ニュートリノとは、異なるコヒーレンスを持つ。これは、固体中にある原子核は、固体内で束縛状態としての波動関数で表わされ、原子よりも千分の一程度の小さな大きさのコヒーレンスを持つ状態であることによる。そのため、原子炉で生成されるニュートリノは、MeV程度のエネルギーのニュートリノのドブロイと同じ程度であり、このエネルギーのニュートリノは、平面波で近似することは、難しい。小さな波束の効果を取り入れた、理論的な扱いが必要である。この扱い方法は、すでに定式化されている方法の一般化で、行える。

(3) さらに、このビームによる、月を通過するニュートリノの位相シフトや、干渉の様子が計算された。実際の日食の間に、太陽ニ

ニュートリノを観測するのは、その時間が5分程度と非常に短いため、現状の測定装置では、難しい。しかしながら、将来に発展が見込まれる高い実効測定率を出す装置が、現実のものとなった際には、本研究の結果が約立つと思われる。

(4) 強磁場中の2次元電子系における外部電流の効果による相転移が示された。超高移動度の半導体を極低温において強磁場中をかけたとき、電子はコヒーレンスをもち、非等方的凝縮状態が実現する。この状態は、異方性をもつ多体電子の強相関状態であり、外部からの電流の向きによって異なる伝導性を示す。電流を大きくすると、電流により誘起される相転移が発現することが、理論的に導かれた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ①. On coherence Lengths of Wave Packets, K. Ishikawa and Y. Tobita, Prog. Theore. Phys. 122,1111-1136,(2009)
- ②. Wave Packets at early Universe, to appear in the Proceedings of Recontres de Blois, (2009)
- ③. Neutrino masses and mixings, K. Ishikawa and Y.Tobita, in the Proceedings of OMEGA07 2007, Ed. K. Kato, APS(2008)
- ④. Anisotropic ground states of the quantum Hall system with currents, Kazumi Tsuda, Nobuki Maeda, and K.Ishikawa, Physical Review B 76,045334 (2007).

[学会発表] (計 5 件)

1 Neutrino Masses and oscillations, K. Ishikawa, International conference of

Origin of Matter 07, 12月6日, 2007, Sapporo

2 ニュートリノの干渉効果 I、Y. Tobita and K.Ishikawa, 日本物理学会 3月21日, 2010, Okayama

3 ニュートリノの干渉効果 II、K.Ishikawa and Y.Tobita, 日本物理学会 3月21日, 2010, Okayama

4 Wave packets at early Universe, 石川健三, Recontres de Blois, 2009, June 24, Blois, フランス

5 超高エネルギー宇宙線と宇宙背景放射光子の散乱における波束の効果、飛田豊、日本物理学会 9月20日, 2008

[図書] (計 1 件)

1 石川健三、培風館、解析力学入門、2008年 183 ページ

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川健三 (ISHIKAWA KENZO)

北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号：90150910

(2)研究分担者
なし

(3)研究協力者
飛田豊 (TOBITA YUTAKA)
北海道大学・大学院理学研究院・大学院生
研究者番号：なし