

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Cosmic Neutrino Background
著者(和文)	秋田謙介
Author(English)	Kensuke Akita
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11870号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山口 昌英,伊藤 克司,慈道 大介,今村 洋介,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11870号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	秋田 謙介
		氏 名	職 名	
論文審査 審査員	主査	山口 昌英	教授	須山 輝明 准教授
	審査員	伊藤 克司	教授	
		慈道 大介	教授	
		今村 洋介	准教授	

論文審査の要旨 (2000 字程度)

近年の宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の精密観測は宇宙誕生から約 40 万年後の宇宙の情報を私たちにもたらし、宇宙の理解に関して多くの進展をもたらした。しかし、宇宙誕生後の 40 万年以前の初期宇宙の詳細はわかっておらず、これを明らかにする新たな観測手法の構築は喫緊の重要な課題である。本論文は、CMB と相補的に初期宇宙の情報を含んでいると考えられる宇宙背景ニュートリノ (C ν B) の定式化に関する著者の貢献をまとめたものである。特に、過去から現在までの C ν B のスペクトラムを最も精度良く明らかにし、このスペクトラムを精密に直接観測する手法について考察を行った。

第 1 章「Introduction」では、初期宇宙を知るために C ν B を考える動機を CMB 観測と比較して紹介している。また、C ν B の直接観測手法のこれまでの理論的發展についても述べている。

第 2 章「Dynamics in expanding Universe」では、一様等方な宇宙におけるニュートリノのダイナミクスを理解するために必要な基礎的な事柄が解説されている。より具体的には、一様等方宇宙の膨張のダイナミクス、この宇宙における熱平衡状態における素粒子の統計的性質、そして、自由運動を行う粒子のダイナミクスなどについて解説されている。

第 3 章「Review of the Cosmic Neutrino Background」では、C ν B の基本的な事柄が解説されている。すべてのニュートリノが平均運動量を持ち、同時に熱浴から脱結合する極限の下で、初期宇宙から現在までの宇宙におけるニュートリノのダイナミクスが解析的に説明されている。また、CMB 観測を通じて、C ν B の存在を間接的に裏付け、標準模型を超えた物理に強力な制限を課すニュートリノ有効世代数についての解説も行われている。

第 4 章「Neutrino decoupling」では、将来の C ν B の直接・間接観測に向けて、脱結合後の一様等方なニュートリノスペクトラムの精密計算が行われている。まず、フレーバー基底においてニュートリノスペクトラムの時間発展を記述する運動方程式の定式化がなされている。このとき、将来の精密観測のために、電磁相互作用による有限温度効果の高次の寄与まで初めて取り入れて運動方程式を解き、脱結合後のスペクトラムを明らかにした。特に、このスペクトラムに基づいて、ニュートリノ有効世代数を、これまでの最高精度となる 10^{-3} の精度まで評価した。さらに、現在の宇宙ではいくつかの世代の宇宙背景ニュートリノは非相対論的であるため、質量が対角化された基底での種々の定式化は、将来の直接観測に向けて有用である。質量が対角化された基底でのスペクトラムの時間発展を記述する式の定式化を初めて行い、そのスペクトラムを明らかにした。

第 5 章「Direct detections of the Cosmic Neutrino Background on tritium」では、C ν B の直接観測によって、CMB 観測とは異なる初期宇宙の詳細な情報を手に入れるため、トリチウムを用いた直接観測実験の精密な定式化を行った。まず、4 章で明らかにしたスペクトラムを基に、天の川銀河やその近傍の銀河の引力による集積の効果も考慮し、ニュートリノの数密度を評価した。さらに、この数密度を用いて、トリチウムとニュートリノの反応率を 1% の精度で定式化し、C ν B の観測可能性と観測される電子のスペクトラムから C ν B のスペクトラムを再構築する手法について議論した。

以上をまとめると、本論文は、一様等方宇宙の下で過去から現在までの C ν B のスペクトラムを最も精密に明らかにした。また、C ν B の直接観測により初期宇宙の詳細な情報を手に入れるため、質量が対角化された基底での定式化を行い、さらに、トリチウムを用いた直接観測実験の反応率を 1% の精度で見積もった。これらの成果は、初期宇宙の物理を今後さらに明らかにする上で必要不可欠である。また、本博士論文には、著者の学識の深さのみならず、この研究分野の活性化への貢献が大きいことが認められることから、博士 (理学) を与えるのに十分であると判断できる。