

氏名	小川 潤
学位の種類	博士 (理学)
報告番号	甲502号
学位授与年月日	2019年3月31日
学位授与の要件	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号) 第4条第1項該当
学位論文題目	Anti-Screening of the Galileon Force Around a Disk Center Hole (ディスク中心の穴の周りにおけるガリレオン力の反遮蔽効果)
審査委員	(主査) 原田知広 (立教大学大学院理学研究科教授) 小林努 (立教大学大学院理学研究科准教授) 田口真 (立教大学大学院理学研究科教授)

I. 論文の内容の要旨

(1) 論文の構成

第一章では、20世紀の物理学発展の歴史から始まり、その後現代物理学に残された問題を挙げている。さらに、そのうちのいくつかの解決策の可能性として、一般相対論の修正が提案されている。第二章では、一般相対論・標準宇宙模型・ダークエネルギーに関する重要な事項が要約されている。第三章では、修正重力、特にガリレオン理論とその一般化である Horndeski 理論とそれらに対する観測的制限が要約されている。第四章では、このような修正重力理論に関して最近注目されているスカラー力の遮蔽機構、特にそのうちでも Vainshtein 機構の概観が与えられている。第五章では、申請者の独自の研究成果に基づいて、Vainshtein 機構の物質分布の非球対称性に対する依存性が述べられており、本学位申請論文の中核をなすものである。第六章は本論文全体の要約と今後の展望に充てられている。補遺では、共形変換に関する公式、F(R)理論とよばれる重力理論、数値計算の詳細がまとめられている。

(2) 論文の内容要旨

一般相対論は現在までのすべての検証実験を通過したもっとも単純な重力理論である。しかし、重力波の直接検出の成功や宇宙論的な観測の発展によって、強い重力場や長いスケールの重力に関する重力理論の検証が注目されるようになってきた。このようなことから、一般相対論以外のより複雑な重力理論に関する関心が高まっている。こうした修正重力理論が太陽系における重力実験を通過しかつ宇宙論的な距離での重力に変更を加えるために、局所的な重力に対する修正効果の遮蔽機構が提案されている。

こうした研究背景のもとで、申請者は修正重力理論の内でも高階微分項を作用に含むスカラーテンソル理論のうちガリレオン理論と呼ばれるクラスの重力理論がもつ遮蔽機構である Vainshtein 機構に着目した。これは、密度の低い領域ではスカラー力によって重力が修正されるが、高密度な物質が分布する領域では運動方程式の非線形性によってスカラー場が遮蔽され一般相対論的な重力が回復されるという機構である。この機構は球対称な物質分布において働くことが従来より知られていたが、最近非球対称な物質分布ではこの機構が働かなかつたり弱かつたりすることが指摘されていた。

申請者は、非球対称な物質分布として穴の開いた円盤状の物質分布を仮定して、ガリレオン理論におけるスカラー場の配位を数値的に求め、スカラー力の効果を調べた。そして、このような配位では、円盤内部や近傍では Vainshtein 機構が働いてスカラー力が抑制されるのに対して、円盤にあいた穴においてはスカラー力がむしろ増強されて重力の一般相対論からの修正が大きくなることを示した。申請者はこれを反遮蔽効果とよび、

その円盤の厚みや密度や穴の大きさに対する依存性を調べた。この独自研究の結果は、宇宙において観測されているブラックホールや中性子星の降着円盤や恒星系円盤において反遮蔽効果が有効であることを直接示すものではないが、遮蔽効果に関する面白い理論的考察を与えるものである。

II. 論文審査の結果の要旨

(1) 論文の特徴

本論文は、修正重力理論におけるスカラー力の遮蔽機構に注目し、そのうち場の運動方程式の非線形性に起因する機構である Vainshtein 機構の物質分布形状に対する普遍性・安定性を調べたものである。遮蔽機構は修正重力において弱重力場での検証実験を通過しながら宇宙の加速膨張を説明するために有力な物理的機構であり、申請者の研究成果は今後の修正重力の理論的研究において重要な方向性を与えるものである。

(2) 論文の評価

本論文での研究によって、ガリレオン理論の遮蔽機構である Vainshtein 機構の物質分布形状に対する普遍性に関する新たな知見が得られ、特にある物質分布形状においてスカラー力は遮蔽されるのではなくむしろ増強されることがあることが示された。これはこれまでの知見から予想されることを超えた新奇性のある発見である。本論文では、従来の研究の概観を与えたのち、ガリレオン理論のスカラー場に対する非線形偏微分方程式を平坦時空背景近似の下で物質分布形状を与えて数値的に解き、遮蔽機構が実現されているかどうかの指標を導入して数値解を解析し、物質分布形状に関するパラメータ依存性を調べて遮蔽効果あるいは反遮蔽効果が現れることを示した。また、背景時空を Schwarzschild 時空にして曲がった空間の効果も調べている。研究のデザインはよく考えられており、数値計算も信頼でき、論文は読みやすく書かれている。申請者の研究者としての能力は高く評価できるものである。