

立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）
大学院生研究
2008年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院			理学研究科	物理学専攻
指導教員	所属・職名		氏名		
	理学部・准教授		村田 次郎 印		
自然・人文の別	自然		個人・共同の別	共同 3名	
研究課題名	ピコ精度画像処理型変位計を用いた近距離重力実験				
研究代表者	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・2年		秦 麻記 印		
研究組織	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・1年		秋山 岳伸		
	理学研究科・物理学専攻・1年		二宮 一史		
研究期間	2008年度				
研究経費	500千円				

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

「大きな余剰次元モデル」によると、余剰次元がミリメートル程度まで広がっている可能性がある」と指摘され、重力は余剰次元方向に伝播し、ミリメートル程度の距離では万有引力の法則が破れ、重力が強まると言われている。一方、実験的な面では、今日まで天体間の様な遠距離では高精度で重力を検証できているのに対しミリメートル以下の重力の精密に検証されていない。つまり、ミリメートル以下で重力の精密測定で万有引力の法則の破れを発見できる可能性がある。我々の研究室では、ミクロンスケールでの重力の精密検証を目指した、ねじれ秤を用いた近距離重力実験を行っている。本年度は主に新装置の開発と測定原理の原理検証を行った。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[近距離重力] [余剰次元] [自由落下]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

1 Introduction

1998 年に N.Arkanı-Hamed らによって提唱された「大きな余剰次元のモデル(Phys. Lett. B429(1998)263.)」によると、ニュートンの万有引力の法則からの逸脱がミリメートル以下のスケールにおいて実験的に観測されることが期待されている。そこで本研究では、RHIC-PHENIX 実験で使用している光学アライメントシステムの技術を応用した世界最高精度の分解能をもつピコ精度画像処理型変位計を用いた、余剰次元探索と等価原理の検証の為の近距離での万有引力の法則の検証実験を行っている。これまでに開発したプロトタイプ装置 Newton I 号では、ニュートンの万有引力の法則と万有引力定数の物質依存の検証をセンチメートルスケールで成功し、等価原理の検証に特化させた対称性と再現性を大幅に向上させた Newton II 号では、万有引力定数の物質依存性の検証をミリメートルスケールで成功した。しかし、これらの装置には構造上近づける距離に制限があった。そこで、本年度は、さらなる近距離で万有引力の法則の検証実験を高精度で行うために、今までにない新たな測定原理に基づく「自由落下方式」を導入した近距離重力測定装置 (Newton III 号) を開発・製作した。この新方式では、加速度を測定することにより今まで未探査領域であったミクロンスケール以下での万有引力の法則の検証が原理的に可能となる。さらに、ニュートンの万有引力の法則からの逸脱が検証されれば、余剰次元存在の裏付けとなり現代物理学の大きな飛躍になるものと期待される。現在、余剰次元探索実験は「巨大加速器を用いた実験」か「ねじれ秤を用いた実験」によるものだが、我々の行う近距離重力実験は加速器を用いた大規模実験にも匹敵する精度を持っており、未だ検証されていない領域に対し、大規模実験を出し抜いて、近距離重力の直接観測による万有引力の法則の精密検証できる可能性を秘めている。本年度は、新たな測定原理に基づく装置の設計・開発と測定方法の原理検証を行った。

2 Backgrounds

重力は、弱い力・強い力・クーロン力の 3 つの力に比べると 10^{-38} と、とても小さいことが理論上の階層性問題として知られている。また、4 つの力を統一する理論として期待される M 理論や大きな余剰次元のモデルでは、三次元より大きな空間次元(余剰次元)を要請している。統一の際のエネルギースケールはプランクエネルギー (10^{19}GeV) 程度であると考えられているが、標準模型のエネルギースケールは 10^3GeV 程度のため 17 桁のギャップがある。ここで注目すべきことは標準模型のエネルギースケールは実証されているのに対し、プランクスケールは実証されているのではなく、ニュートンの万有引力の法則がプランク長まで成り立っていることが前提条件となって算出されている。しかし、万有引力の法則の実験的検証について考えてみると、天体間のような遠距離では高精度で検証されているのに対し、ミリメートルスケール以下における厳密な検証データは存在しない。つまり、プランクスケールが 10^{19}GeV の根拠となる万有引力の法則は実はプランク長まで正しいという保証はない。そこで、大きな余剰次元モデルでは、プランクスケールが修正されると考えられている。このモデルでは、仮にプランクスケールが標準模型のスケールと同程度の 10^3GeV で、余剰次元の数が 2 次元のとき、余剰次元はミリメートル程度まで広がっていることを意味する。この場合、ミリメートル以下ではニュートンの万有引力の法則が破れ、重力ポテンシャルは、ニュートン重力から逸脱する項(湯川型)を含む形に変更される可能性を示唆している。つまり近距離において万有引力の法則からの逸脱が実験的に検証されたとしても、既知の観測事実と無矛盾である。むしろミリメートルスケール程度で実験的に観測される可能性がある」と主張されている。

3 Apparatus

本年度、開発・製作を行った装置 (Newton III 号) は、新たな測定原理に基づいた世界初の装置である。キャベンディッシュの重力実験以来 200 年間、これまでのねじれ秤による近距離重力測定装置は、ターゲットと呼んでいるねじれ秤とアトラクターと呼んでいる重力源の間に働く力と、ねじれ秤を吊るしている弾性体 (ワイヤー) の復元力とのつりあい

研究成果の概要 つづき

位置の計測からその力を求める方法か、ターゲットの近くにアトラクターが有る時と無い時による振動周期の変化の計測から力を求める方法のどちらかで万有引力の法則の検証を行っていた。しかし、今回新たな測定原理として考案した「自由落下方式」を導入した Newton III 号は、ターゲットをアトラクターに接触するまで運動の様子を計測し、位置の二階微分からその加速度を得ることにより力を求める。これにより、これまで到達不可能だった物体が接触するような超近距離での万有引力の法則の検証が可能となる。さらに、ターゲットが運動している全ての位置において、ターゲットの加速度を算出することが可能であるため、1 回の測定で、様々な距離における万有引力の法則の検証が可能となった。Newton III 号の設計では、数々のシミュレーションからねじれ秤などの最適な値を求め設計されている。また装置の開発と同時に今回画像解析システムの変更も行った。従来の測定はデジタルビデオカメラによる測定だったが、フルハイビジョンカメラによる測定に変更し、大量のデータを短時間で効率よく解析をするためにパソコン 10 台を使用した PC クラスタを構築した。さらに、装置内部を真空にし、空気の対流の影響をなくし、実験場所もこれまでの立教大学 13 号館地下からより振動環境が良い横須賀市長坂の立教大学原子力研究所に設置した。

4 Experiments

Newton III 号による近距離重力実験の測定は、主に遠隔操作で行われ測定・解析方法は以下のような手順で行った。

1. フルハイビジョンカメラを用いてねじれ秤の運動の様子を撮影し動画ファイルを作成する
2. 動画ファイルを 29.97fps(1 秒 29.97 フレーム)で静止画に変換する
3. 各静止画ファイルから輝度情報を読み取り、輝度重心を求め、ねじれ秤の角度を求める
4. 求めた角度を 2 階微分することで加速度を求める
5. 重力源がねじれ秤に近い状態と遠い状態でそれぞれ加速度を求め、加速度の差から重力の大きさを算出する
6. 求めた重力の大きさから χ^2 検定を用いて変更された重力ポテンシャルの湯川型の項の最適な大きさを求め万有引力の法則の検証を行う

このような測定・解析方法で 2008 年 12 月から Newton III 号による近距離重力実験の原理検証を目指し測定を開始した。

5 Results

Newton III 号による近距離重力実験は、2008 年 12 月に装置を立教大学原子力研究所に移設し、遠隔操作を行うためのネットワーク構築や装置内部の様々な微調整を行った。そして 2008 年 12 月中旬から 2009 年 1 月中旬にかけて測定を行い、約 30 時間分のデータの収集に成功した。得られたデータは約 20TB に相当し解析時間は約 3 週間に及んだ。解析を行った結果、世界で初めて、加速度測定方式で原理検証に成功し、装置の精度がよくマイクロスケールでの高精度検証が可能であることが分かった。今後、未解決の問題を解決することで、Newton III 号による近距離重力実験による、万有引力の法則や万有引力定数の物質依存性の精密検証を可能とし、世界で未だ精密検証されていないマイクロスケール以下での余剰次元探索及び等価原理の検証を行っていく。