

宇宙物理学教室

1 Hawking radiation

有馬 祥梧

Hawking 輻射とは、ブラックホールの事象の地平線からの粒子の放射を観測する現象であり、曲がった時空上における場の量子論から理論的に導かれる。一般相対性理論と量子論の組み合わせた学問は量子重力理論と呼ばれており、未だ確立されていない。Hawking 輻射は重力理論と量子理論の間に位置する現象であり、Hawking 輻射を調べることで量子重力理論を確立するために必要な手掛かりを得る可能性がある。本研究では、場の量子論を用いた Hawking 輻射の導出と量子トンネル効果を用いた導出を行い、両者にどのような違いや類似性があるのかについて比較・考察した。

2 連星中性子星からの重力波放射

鈴木 蓮

重力波は時空のさざ波が光速で伝搬する現象である。2015年9月に Advanced LIGO によって連星ブラックホールからの重力波が初めて直接検出されたことで、重力波で宇宙を観測することが可能となった。しかし、重力波の信号は非常に微弱であるため、検出には理論的な波形の予測が重要となってくる。そこで、本研究ではまず重力波の生成を記述する四重極公式をアインシュタイン方程式の線形化を行って導出した。そして、最も有望な重力波源の1つである連星中性子星合体を想定し、円軌道にある連星からの重力波波形の解析解を求めた。連星が離心率を持つ場合には数値計算が必要になるが、Runge-Kutta 法によるコードを作成し、軌道長半径と離心率の変化を調べた。

3 Kerr ブラックホール周りの軌道における一般相対論的な重力の効果

千秋 郁人

天体の運動を正確に記述するには一般相対論的な重力の効果を検討する必要がある。一般相対論的な重力の効果に、回転している天体による慣性系の引きずりと呼ばれる現象があり、地球の重力場における慣性系の引きずりの効果が Gravity Probe B 実験で測定された。本研究では、より引きずりの効果が顕著に現れると期待される Kerr ブラックホールにおいて、回転の大きさに対して引きずり角がどのように依存するか4次の Runge-Kutta 法を用いたシミュレーションで調べた。結果は、ブラックホールの回転が大きいほど引きずりの効果は大きく、ブラックホールの半径の5倍の位置から自由落下した粒子の場合、無次元化された回転パラメータが0.97以上のとき1回転以上引きずられることが分かった。

4 弱く回転するブラックホール周りの軌道における一般相対論的重力効果

蜂谷 海斗

一般相対論的な重力の効果の 1 つに回転する重力源の周囲における「慣性系の引きずり」がある。この効果は、地球の重力場における精密実験などでその存在が確かめられているが、強重力場では十分な検証がなされていない。そこで、本論文では、Kerr ブラックホール時空における引きずりの効果について、ブラックホールの回転パラメータが小さい場合に適用可能な近似的計算コードを開発して、シミュレーションによって定量的に調べた。さらに、近似を用いない計算との比較を行い、本研究で採用した近似手法が、回転パラメータが 0.7 程度とやや大きい場合にも、およそ 20% の誤差で引きずりの効果を計算可能であることを確かめた。

5 宇宙の距離はしごを用いたハッブル定数の測定

田中 乃愛

ハッブル定数を求める代表的な方法には、宇宙マイクロ背景放射(CMB)を用いた方法と距離はしごを用いた方法があるが、両者の結果には有意なずれが存在することが指摘されている。本論文では距離はしごを用いた方法に着目し、精度の向上した Gaia 衛星の年周視差データと最新のセファイド変光星、Ia 型超新星の観測データを用いてハッブル定数を測定した。その結果、従来報告されてきた値と整合した値が得られ、CMB による値との有意なずれは依然として残ることがわかった。

6 Ia 型超新星を用いたダークエネルギーへの制限

渡辺 勲

超新星爆発や宇宙マイクロ波背景放射などの観測により宇宙の加速膨張が示唆されている。その加速源はダークエネルギーと呼ばれており、その候補に宇宙定数がある。本論文では、Dark Energy Survey Supernova Program から得られた Ia 型超新星の新しい観測データを用いることでダークエネルギーへの制限を求めた。その結果、ダークエネルギーを宇宙定数と仮定した場合、ダークエネルギー密度の最確値は物質エネルギー密度の二倍程度となることが確認できた。また、宇宙を平坦だと仮定した場合には、ダークエネルギーは宇宙定数と整合することがわかった。

7 ダークマターハローの非球対称性と Splashback Radius

佐久間 遥己

大規模数値シミュレーションをもとに、ダークマターハローの物理的境界として Splashback Radius が考えられている。先行研究ではハローの球対称性を仮定して解析が行われていたが、本研究では非球対称性を考慮し、長軸・短軸それぞれの方向での Splashback Radius を評価した。その結果、Splashback Radius の非球対称性は、ハローの質量分布の非球対称性よりも遥かに小さいことがわかった。その結果と質量降着率との関係を考察した。

8 分光観測を視野に入れたダークマターハローの速度異方性の解析

藤沢 陽人

本研究では、重力多体シミュレーションのデータを用いて、ダークマターハローの速度分散とその異方性を定量的に調べた。結果として、ダークマターハローには有意な速度異方性が存在するが、動径依存性は弱いことが確認できた。そこで、将来の分光観測を念頭に、天球面上で投影された二次元的な速度分散の情報から、三次元的な速度異方性の情報を引き出す方法を考察した。これまでに、平均的には球対称を仮定した解析が妥当であることが確認できたため、次にジーンズ方程式を用いて、観測される視線方向の速度分散から三次元的な速度異方性の情報が引き出せるかどうかを検証する。

9 相対論的粒子による制動放射と逆コンプトン散乱

栗本 宗

本研究では、相対論的な熱的・非熱的粒子に適用できる制動放射の定式化を行った。粒子の速度が光速よりも十分小さい極限では、汎用されている非相対論的な表式に一致することも確認した。また、ローレンツ因子が $\gamma < 10$ 程度の電子による制動放射と、 $\gamma \sim 10^4$ 程度の電子による逆コンプトン散乱は同じ波長帯で放射されるので、両者の放射スペクトルの大小関係を定量的に調べた。結果として、非熱的電子の分布関数のべき指数が2~3より大きい場合には、非熱的制動放射の放射強度の方が卓越することがわかった。

10 テラヘルツ光子計数型強度干渉計の実現に向けたクライオスタットの性能評価

栄野比 里菜

本研究では、テラヘルツ強度干渉計用のクライオスタットの冷却性能評価および光学窓に取り付けるフィルターの開発を行った。フィルター開発においては、吉永フィルター、ブラックポリプロピレン、超高分子量ポリエチレンに反射防止コーティングを施すことで、600 GHz の透過率を 60% 以上を達成することができた。また、赤外線や可視光をカットすることでフィルター透過後の熱放射を 16 μW 以下に減らすことができた。さらに、冷却性能評価では吸着冷凍器を用いて 0.8 K までの冷却試験を行った。その結果、窓開けの状態でも 0.8 K を 103 分保つことが分かった。