

2021年4月20日

4年生特別実験テーマ候補 (2021年Sセメスター)

道村唯太

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

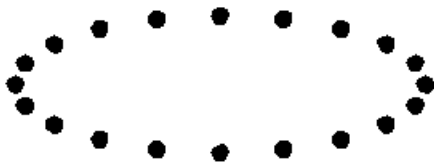
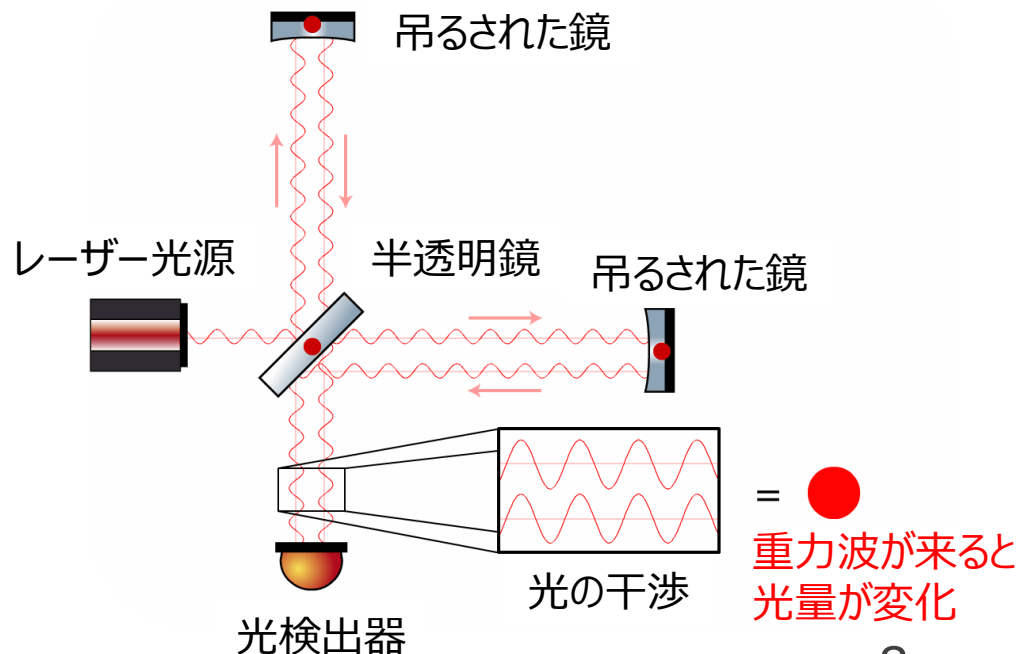
安東研究室

- 大型低温重力波望遠鏡KAGRA(かぐら)
- スペース重力波望遠鏡DECIGO(でさいご)
- ねじれ振り子型重力波望遠鏡TOBA(とーば)
- 相対論・量子光学実験
 - 機械-光学系(オプトメカ)
 - 光速の等方性検証
 - 暗黒物質探査 などなど
- 装置設計、装置開発、データ解析
- ホームページ: <http://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/ja/>
- 過去の特別実験: <http://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/ja/?UndergradReports>

重力波とは

- 光速で伝わる時空の歪み
- 伝播方向と垂直な2つの方向が伸び縮みする
- レーザー干渉計でその伸縮を超高精密計測する
 - レーザー干渉計の光学系
 - 鏡の懸架・防振系
 - 熱雑音の低減
 - 精密センサやアクチュエータ

干渉計を上から見た図



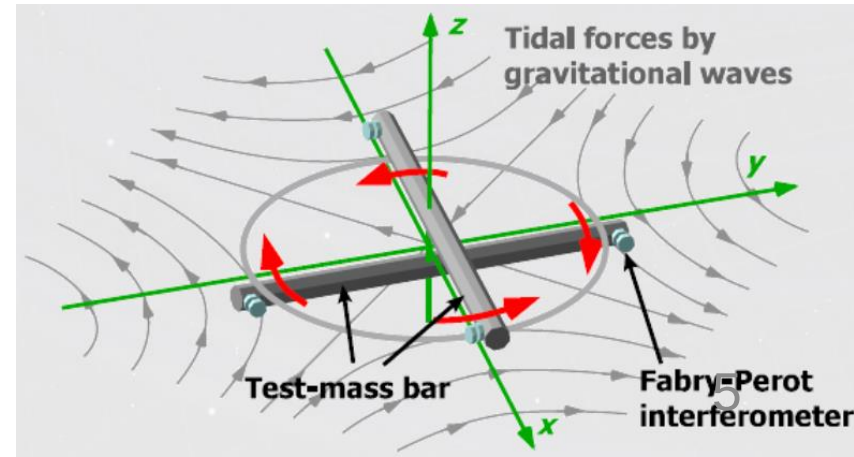
特別実験テーマ候補

- TOBAの重力波データ解析
- TOBAの地震データ解析
- 非平衡系の熱雑音測定実験
- CSLモデルの検証実験
- 光速の等方性検証実験
- 光リング共振器によるアクシオン探査実験
- KAGRAやオプトメカ系を用いたB-L暗黒物質探査
- 光学浮上鏡の開発
- コイル-コイルアクチュエータの開発
- 光ファイバー干渉計の開発
- その他

TOBAの重力波データ解析

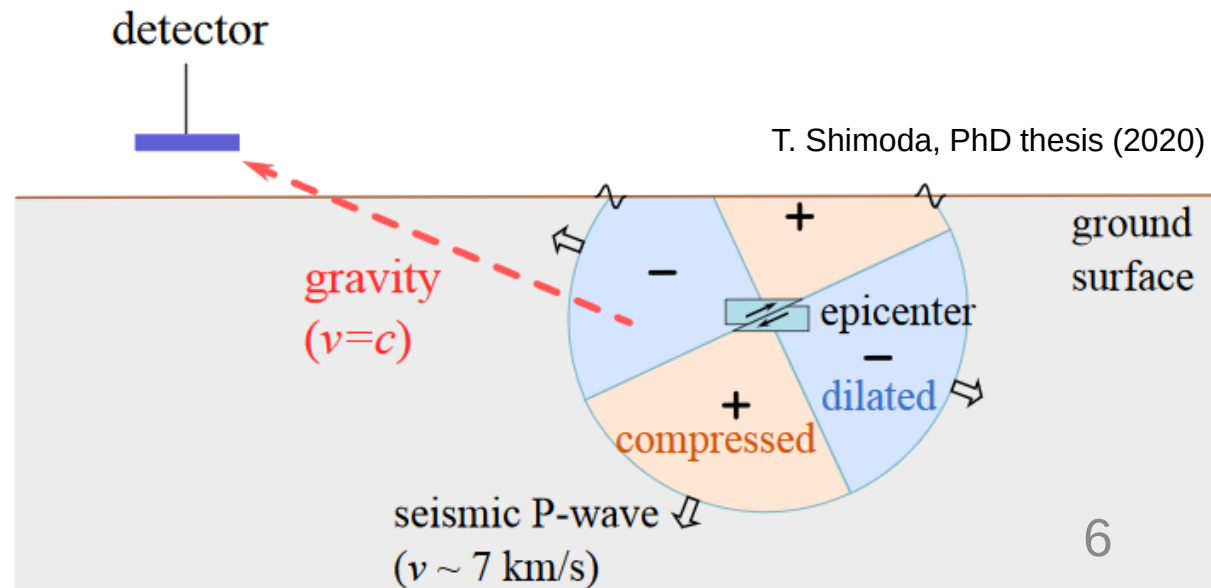
- ねじれ振り子の回転で低周波重力波(~ 0.1 Hz)
 - プロトタイプ装置の開発が行われている
 - 過去の観測データを用いて
 - 中間質量ブラックホール探査
 - 中間質量比ブラックホール探査
- など
- LIGOなどは100 Hzで感度が良いので、重力波の独自の探査が可能

PhysRevLett.105.161101



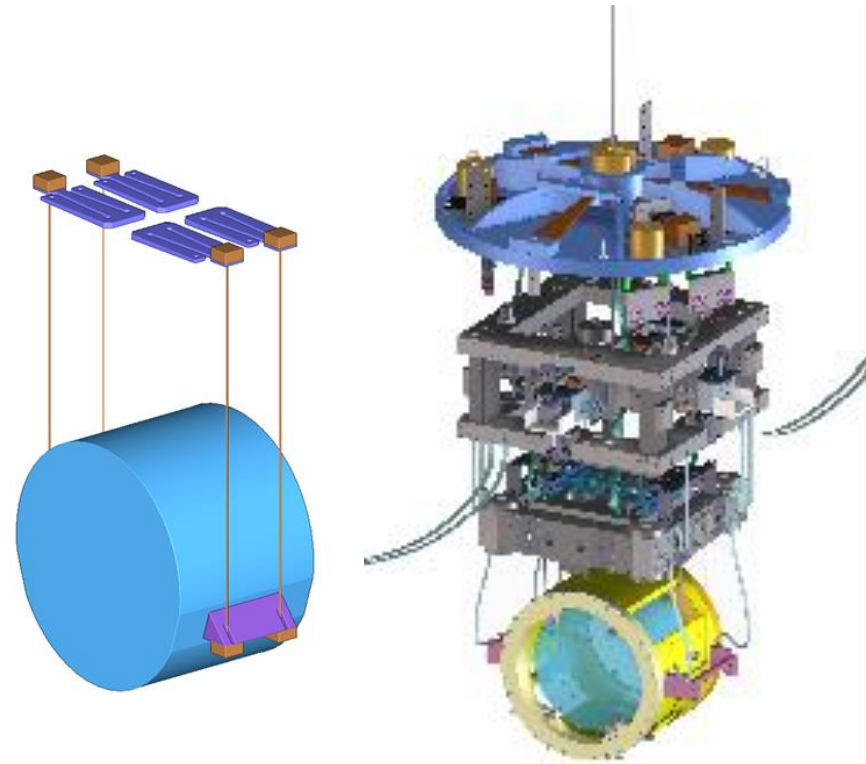
TOBAの地震データ解析

- TOBAは地震による重力場変動にも感度がある
- 重力場変動の方が地震波よりも早く伝わるので、アラートが出せる(例えば100 km離れたマグニチュード7の地震を10秒前に観測できる)
- 過去の観測データからの地震信号があるかどうか見てみる(我々しか持っていないデータがある)



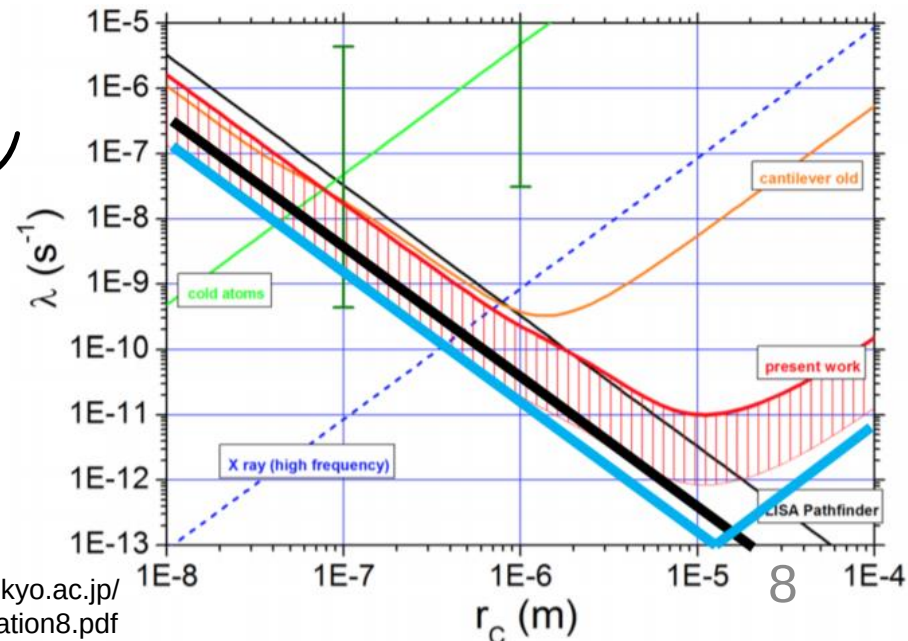
非平衡系の熱雑音測定実験

- 重力波望遠鏡では鏡の熱振動や懸架ファイバーの熱振動が雑音となる
- KAGRAでは鏡を冷やすために、懸架ファイバーに温度勾配をつけている
- 揺動-散逸定理は普通は平衡系で考える
- 非平衡定常状態での熱振動はどうなるか？
- 理論計算はあるので、それが正しいか確かめる
- Thermoelastic雑音など面白い現象もある



CSLモデルの検証実験

- 巨視的な物体の位置の重ね合わせ状態はまだ観測されていない
- 量子力学は正しいが、他の雑音が大きいだけなのか、それとも量子力学が間違っているのか
- 巨視的な系では自発的に波動関数が収縮してしまう説(continuous spontaneous localization)がある
- この説が正しければ、熱雑音(熱的デコヒーレンス)が増えたように見えるので、それを確認する
- 細いワイヤの振動を見る
新アイディア



光速の等方性検証実験

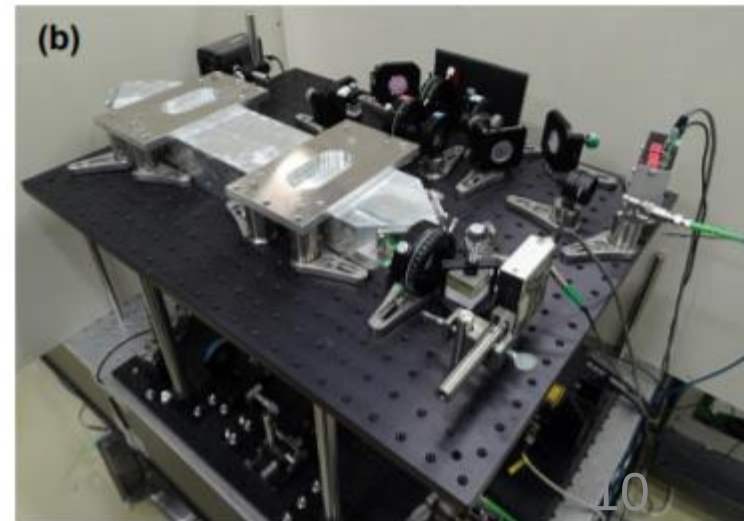
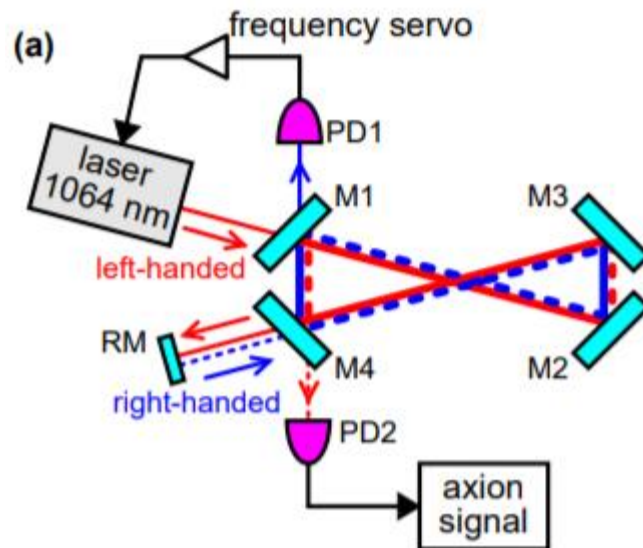
- 量子重力理論の研究などからローレンツ不変性が破れている可能性
- 光速が伝播方向に依存することになる
- 光リング共振器を用いて光速の行き帰りの差を探查する(マイケルソン・モーレーの実験とは別)
- 2013年に $|\delta c/c| < 6e-15$ という世界最高精度達成
- 2019年に改良型装置完成
- 回転に同期する雑音の低減をやってみる(ファイバ光学系の改良、強度安定化など)



アクシオン探査実験

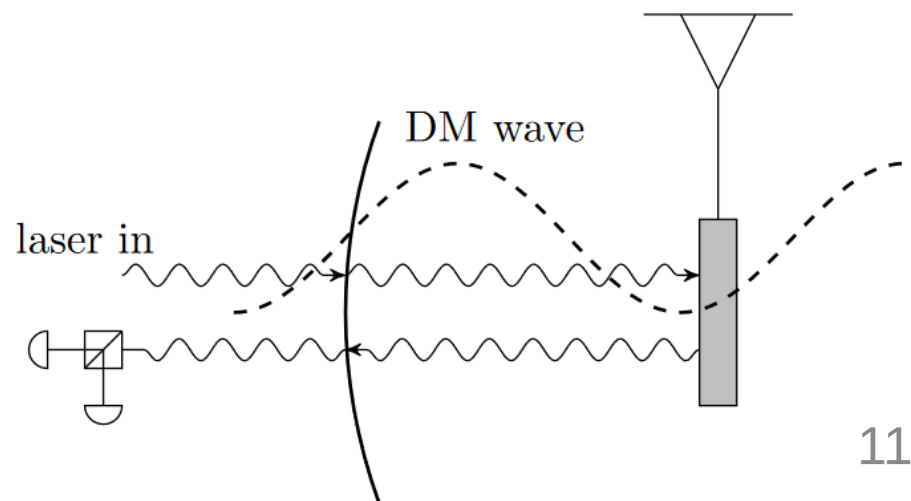
- アクシオンは暗黒物質の有力候補
- アクシオンと光子が相互作用すると、左円偏光と右円偏光で光の速さが違うことになる
- その差を光リング共振器で測定する
- プロトタイプ装置はほぼ完成
- 光共振器の性能評価から実際の探査まで

J. Phys.: Conf. Ser. 1468, 012032 (2020)



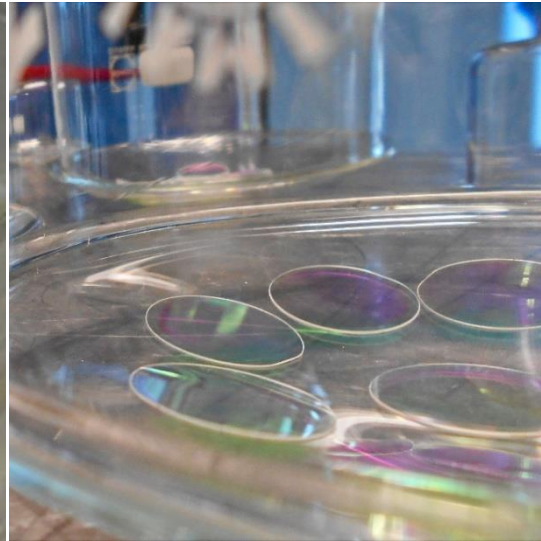
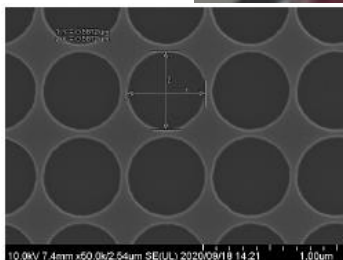
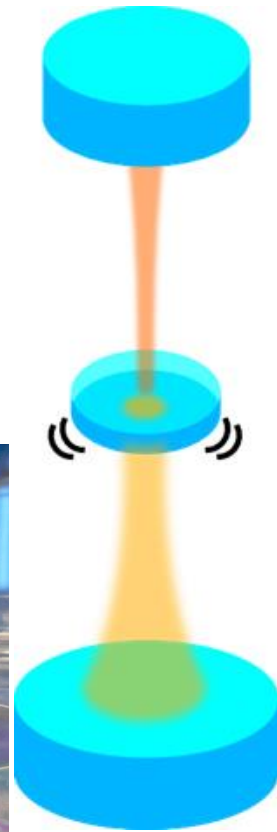
B-L暗黒物質探査

- 暗黒物質の候補として、B-L数(バリオン数-レプトン数)に結合するベクトル場が考えられる
- そのベクトル場からの力(第5の力)をレーザー干渉計で探査することによって暗黒物質を探査する
- B-L数/質量 (~中性子数密度)が異なる鏡で構成されたレーザー干渉計を用いる
- KAGRA(サファイアとシリカ)のデータを用いる
- または、テーブルトップ実験でやってみる



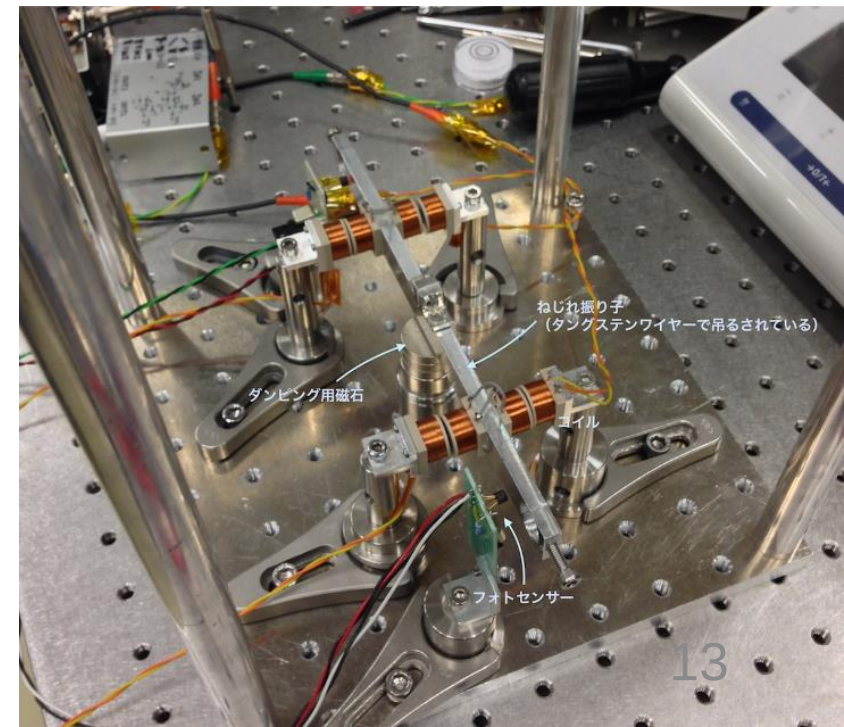
光学浮上鏡の開発

- 量子力学を大きな質量を持つ物体で検証する
- 熱雑音を減らすため、鏡を光輻射圧のみで浮かす
- 浮上鏡は曲率付きでmg程度である
必要があり、開発が難しい
- フランスLMAと協力して薄型石英鏡、
生産研岩本研と協力してフォトリソニック結晶
ミラーを開発し、性能評価をする



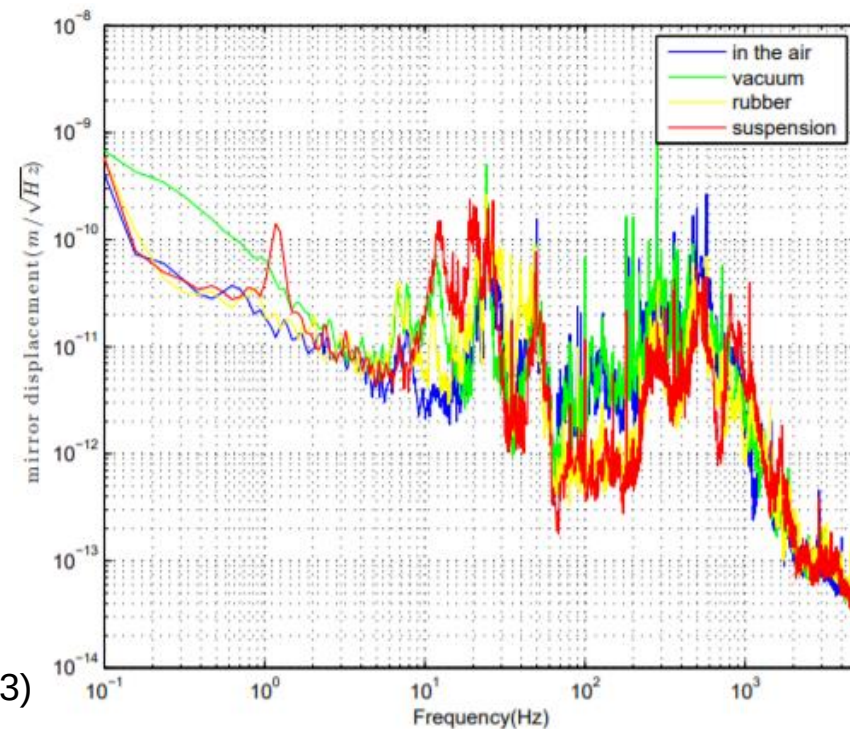
コイル-コイルアクチュエータ

- TOBA実験などで用いることのできる、高精度アクチュエータを作ってみる
- よく用いられているコイル-マグネットアクチュエータに比べると磁場雑音が小さい
- 変調周波数を上げての磁場雑音対策や熱雑音の測定をやってみる
- センサーとしても使ってみる



光ファイバ干涉計の開発

- TOBA実験やその他懸架鏡実験で用いることのできる、高感度変位計測計を作ってみる
- 他の実験で見られているような偏光雑音、強度雑音の評価と低減
- ファイバー融着などを利用した高感度化の可能性



その他テーマ候補

- KAGRAの重力波データ解析
- SILVIAの制御系シミュレーション
- LISAレベルのphasemeterの開発
- 光学浮上鏡の吸収測定
- 微小球やトーラスの光トラップ
- 偏光と複屈折、LGモードを利用した回転制御
- 回転TOBA
- 重力逆二乗則の検証実験、等価原理の検証実験
- 現代制御理論や機械学習を利用した干渉計制御、干渉計アライメント調整自動化
- 高感度フォトセンサ、高感度地震計、GASフィルターの開発
- Digital Micromirror Deviceを用いた全空間モードWFS
- 挙げた以外でも、やる気があれば何でもOK