

The logo for KAGRA, featuring the letters 'KAGRA' in a bold, black, sans-serif font. The letter 'A' is replaced by a blue circle with a white crescent shape inside, resembling a stylized eye or a celestial body. A blue swoosh line arches over the letters 'A' and 'G'.

2012年度第42回天文・天体物理若手 夏の学校

# 干渉計型重力波検出器における QND測定について

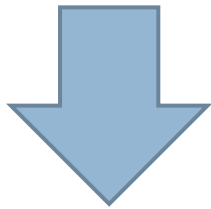
2012年8月2日(木)09:30～(A会場)

東京大学理学系研究科物理学専攻宇宙線研究所

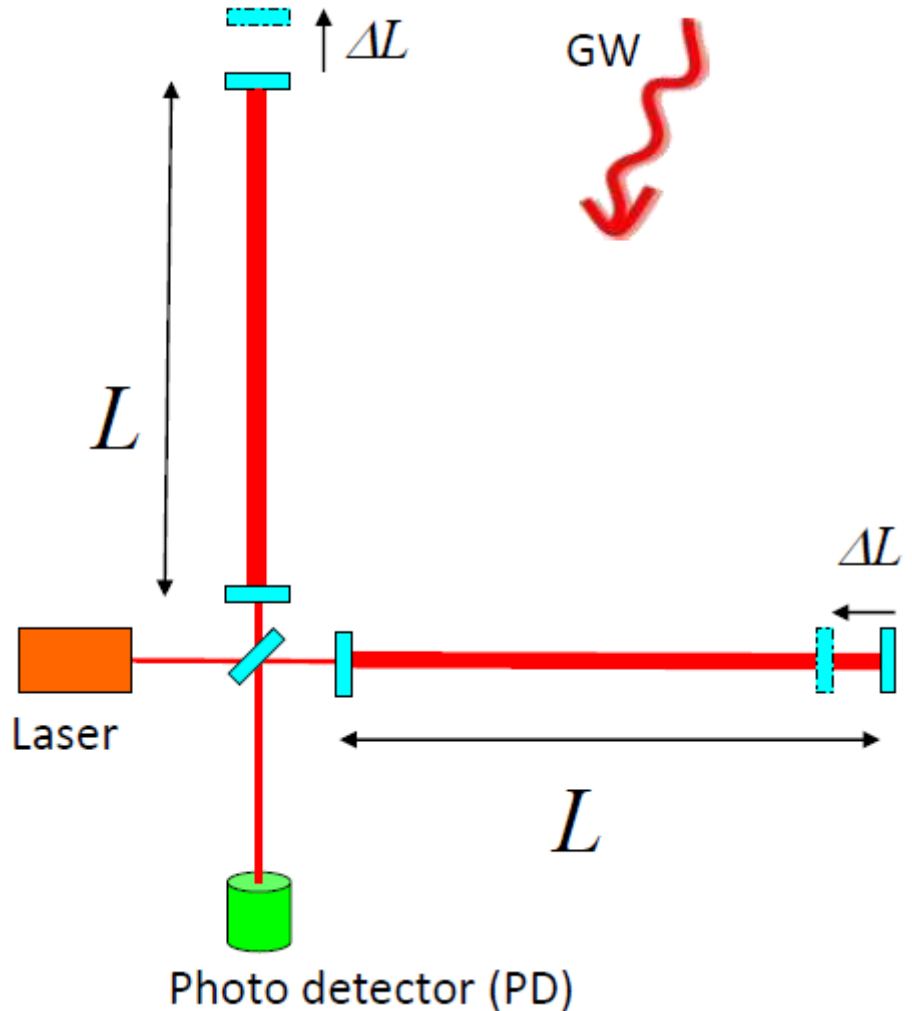
黒田研究室 修士1年 中野雅之

# 干渉型重力波検出器

- 重力波: 2つの物体間の固有距離を伸び縮みさせる
- 干渉計: 2つの腕の長さの違いを光のパワーとして検出する



干渉計を使えば重力波が検出できる！！



# 重力波検出器における雑音

## □ 鏡の変位雑音

重力波以外が原因となる鏡の変位によって重力波の信号が消されてしまう。

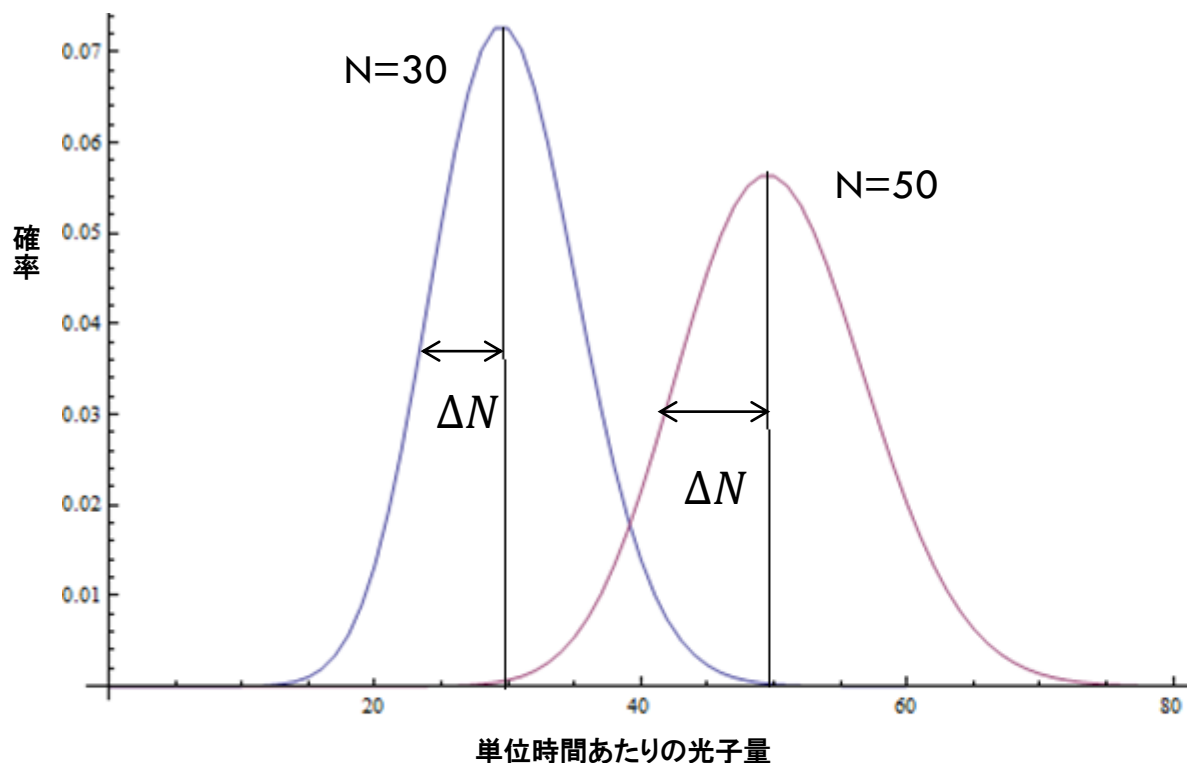
## □ 光のパワーのゆらぎ

重力波による鏡の変位はパワーとして検出されるため、そのパワー自体が揺らいでいると雑音となる。

# 量子雑音

## 光が量子性を持つために起きる雑音

量的には、光は光子の流れとして捉えられ、単位時間あたり流れる光子の数はポアソン分布を持つ。そのため、単位時間あたり流れる光子の数にゆらぎが存在する。



光子数のゆらぎ

$$\Delta N = \sqrt{N}$$

# 量子雑音

## □ 散射雑音

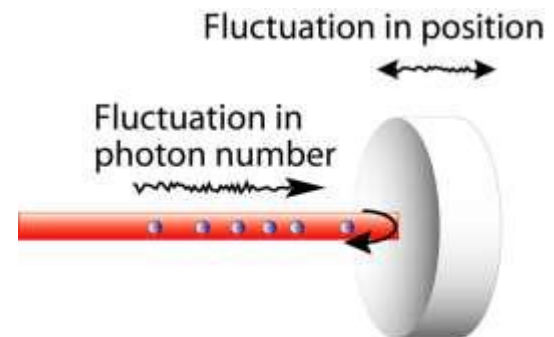
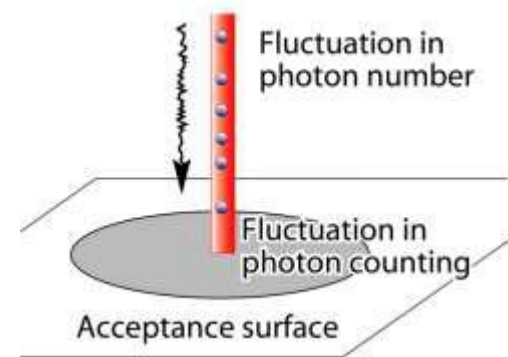
光の位相ゆらぎによる雑音。

$$\Delta\theta = \frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{P}}$$

## □ 輻射圧雑音

光の強度揺らぎによる雑音

$$\Delta P = \sqrt{P}$$



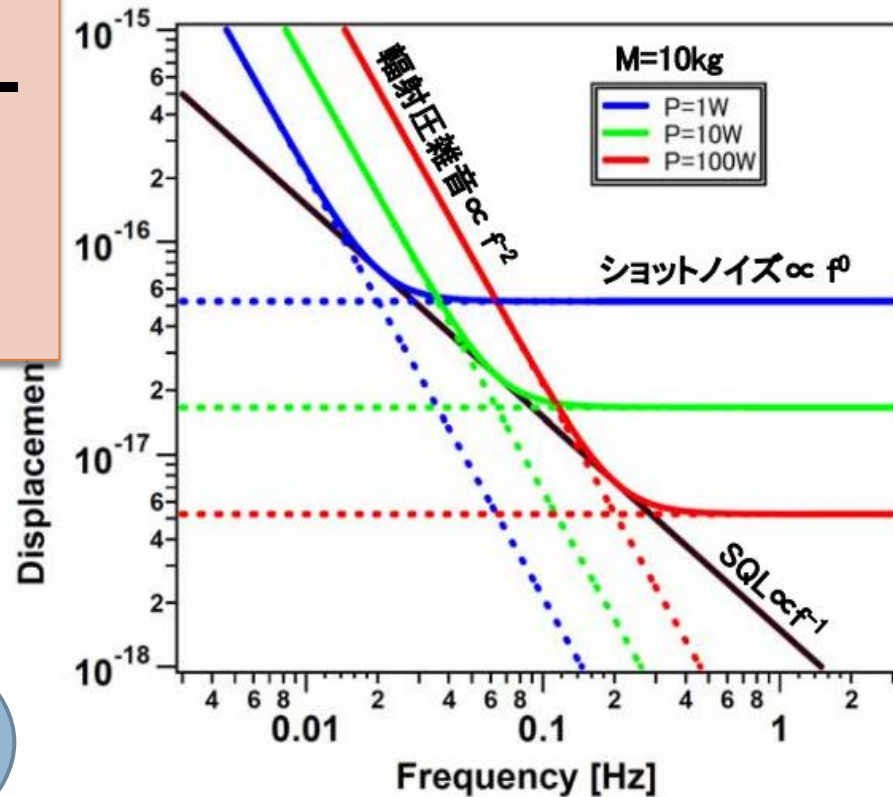
# 標準量子限界

- ハイゼンベルクの不確定性定理によると、位相のゆらぎと強度のゆらぎの積は一定値以下にならない。

$$\Delta\theta\Delta P \geq 1$$



量子的に決まる感度限界が存在し、それを標準量子限界と呼ぶ

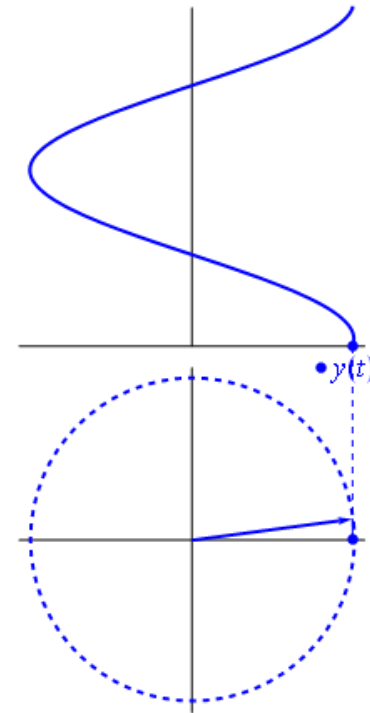
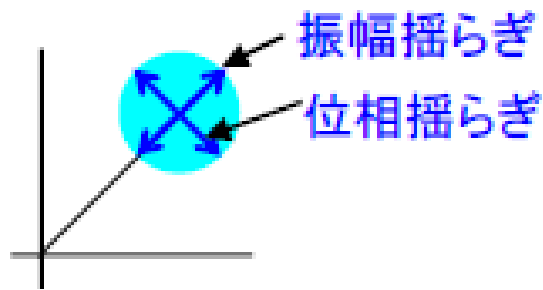


# KAGRA では

- 多くの雑音がSQL以下まで低減される予定である。
- さらなる感度向上のためには、SQLを超える必要がある。
- 今後の重力波検出器において、SQLを超えた感度達成は成し遂げられなければいけない課題である。
- SQLを突破する有力な方法の1つがポンデロモータィブスクイーミングを利用したQND測定である。

# Phasor Diagramについて

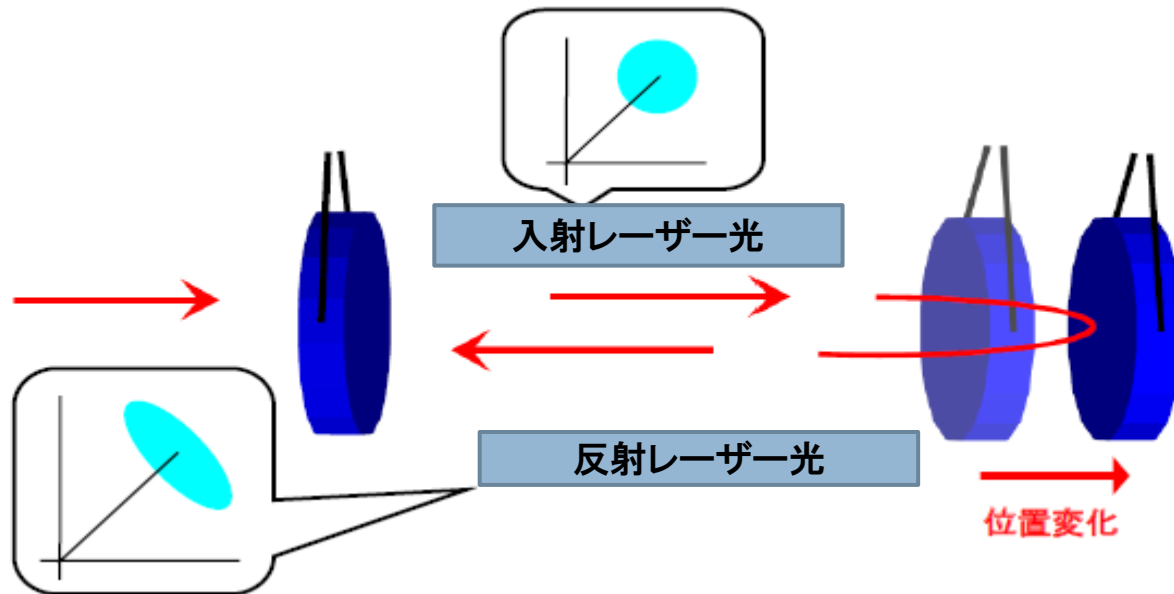
- 波をベクトルの回転によって表したものの。
- ベクトルの長さが振幅を、ベクトルの傾きが位相を表す。
- 雑音はボールで表される。





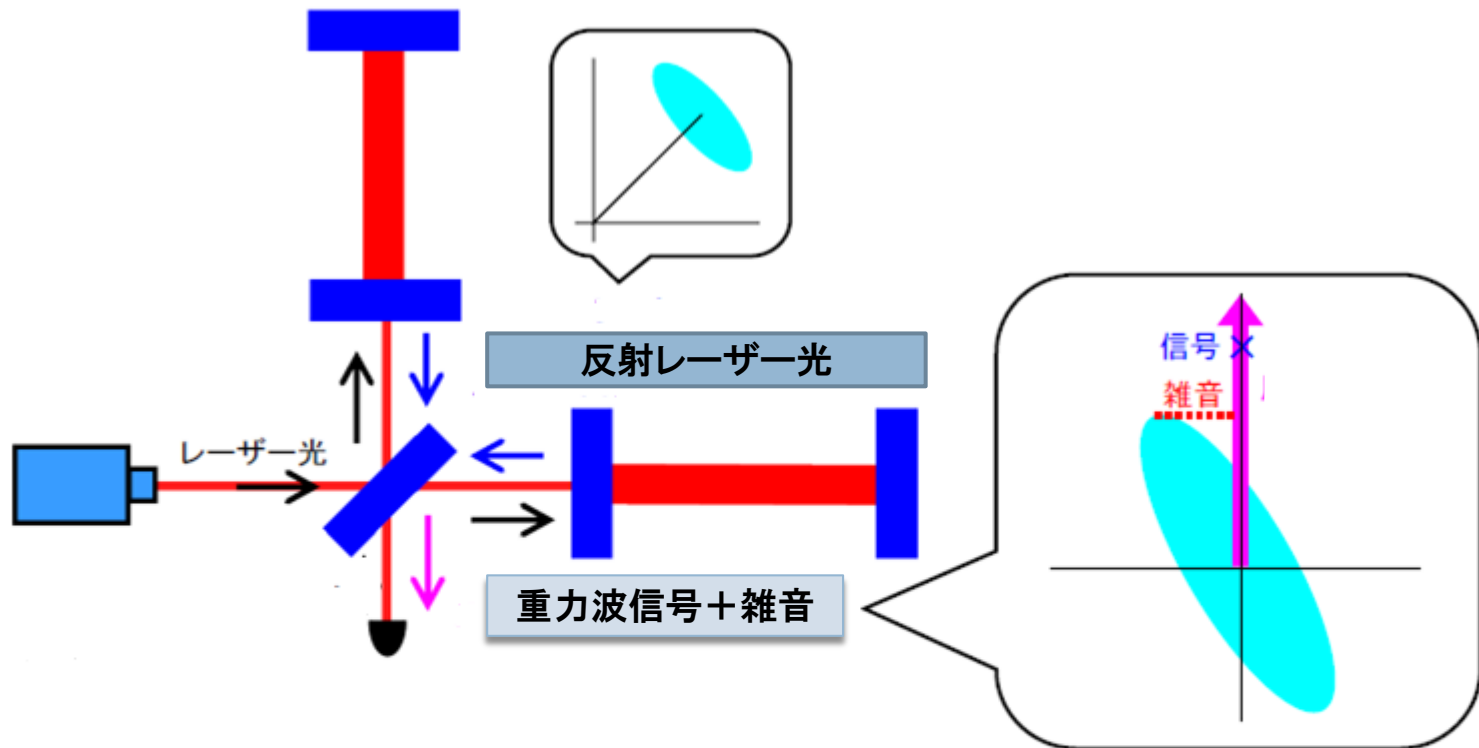
# ポンデロモーティブスキューニング

- 輻射圧雑音によって鏡が揺れることで、位相方向のゆらぎが大きくなる。
- この時、Phasor Diagram上の雑音の形が変化する。これをポンデロモーティブスキューニングと呼ぶ。



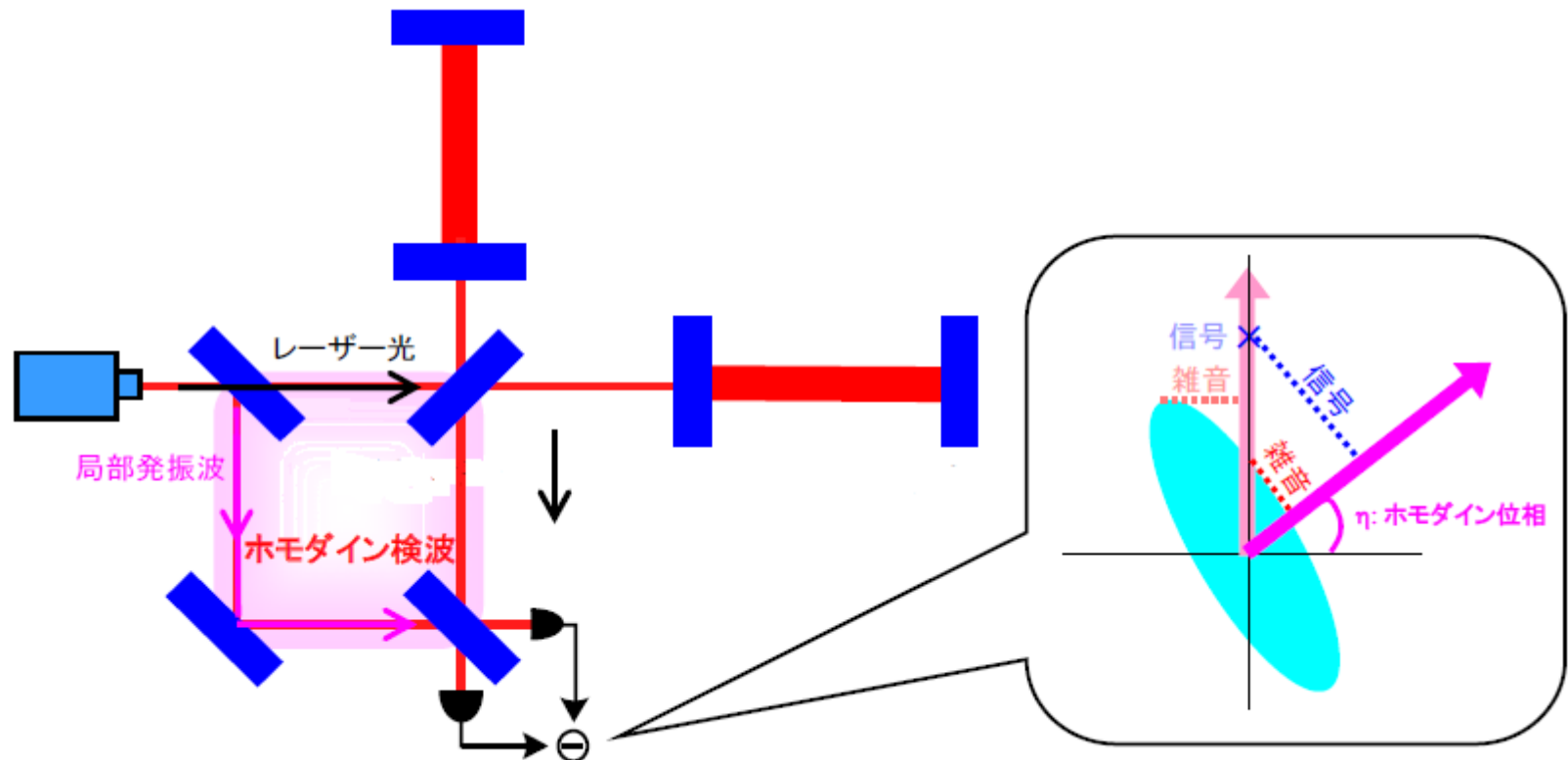
# 通常 of 測定

- 通常 of 測定は、信号強度が最も大きくなるような測定となっている。

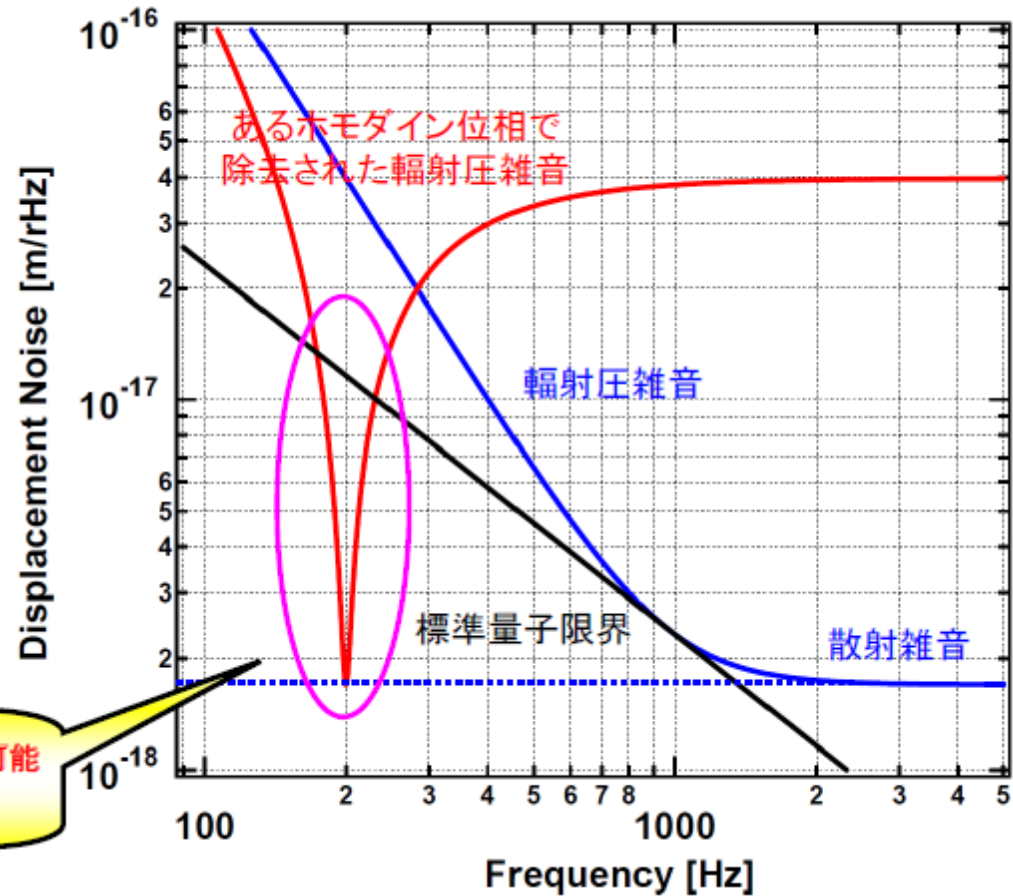


# ポンデロモーティブスキューズを利用したQND測定

- QND測定では、信号/雑音比が最大になるように測定することができる。



# ポンデロモーティブスキューズを利用したQND測定



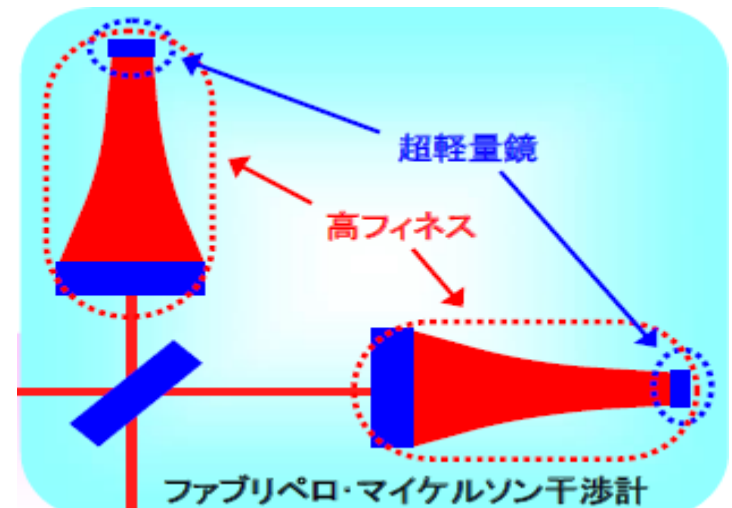
» 散射雑音レベルにまで到達可能  
» 標準量子限界も超えられる

# 現在行われている実験

- 現在輻射圧雑音が観測された例は無いが、KAGRAでは輻射圧雑音が観測されるはずである（輻射圧雑音によって感度がリミットされる。）
- ポンデロモーティブスキューミングを利用したQND測定の目的は輻射圧雑音を低減させる事であるため、KAGRAや今後の重力波検出器において非常に有用であると考えられる。
- KAGRA完成前に輻射圧雑音を下げる技術を確立しておく必要がある。

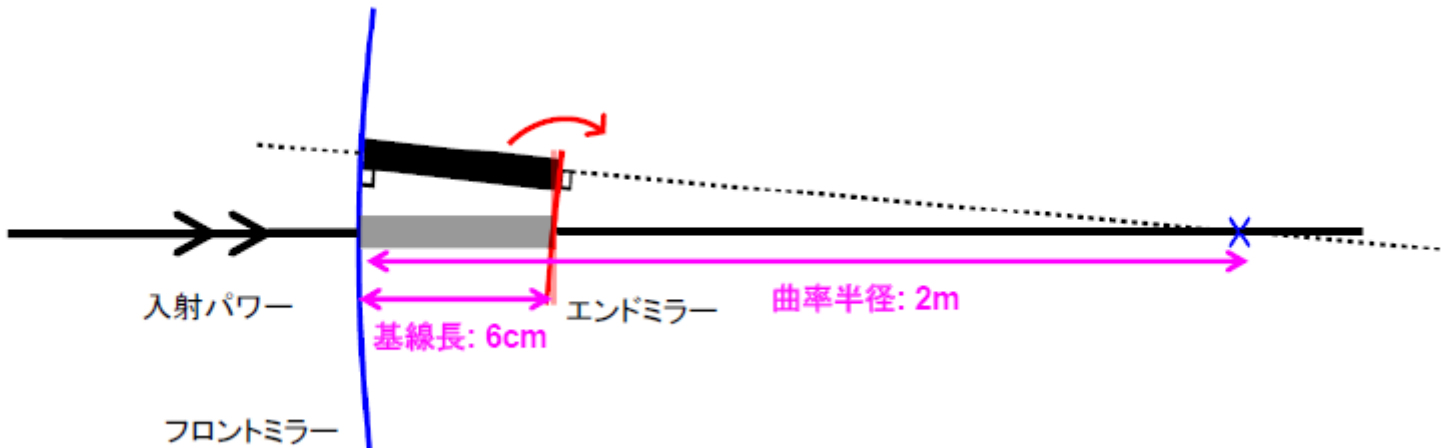
# 23mg鏡を使った輻射圧実験

- まずは輻射圧雑音の観測を目指す。
- 輻射圧による鏡の揺れは、鏡が軽いほど大きい。
- 大きなパワーを持つ光は鏡を大きく揺らす
- 超軽量鏡を使い作成した、高いパワーをためられる共振器を利用する。



# 現在の問題

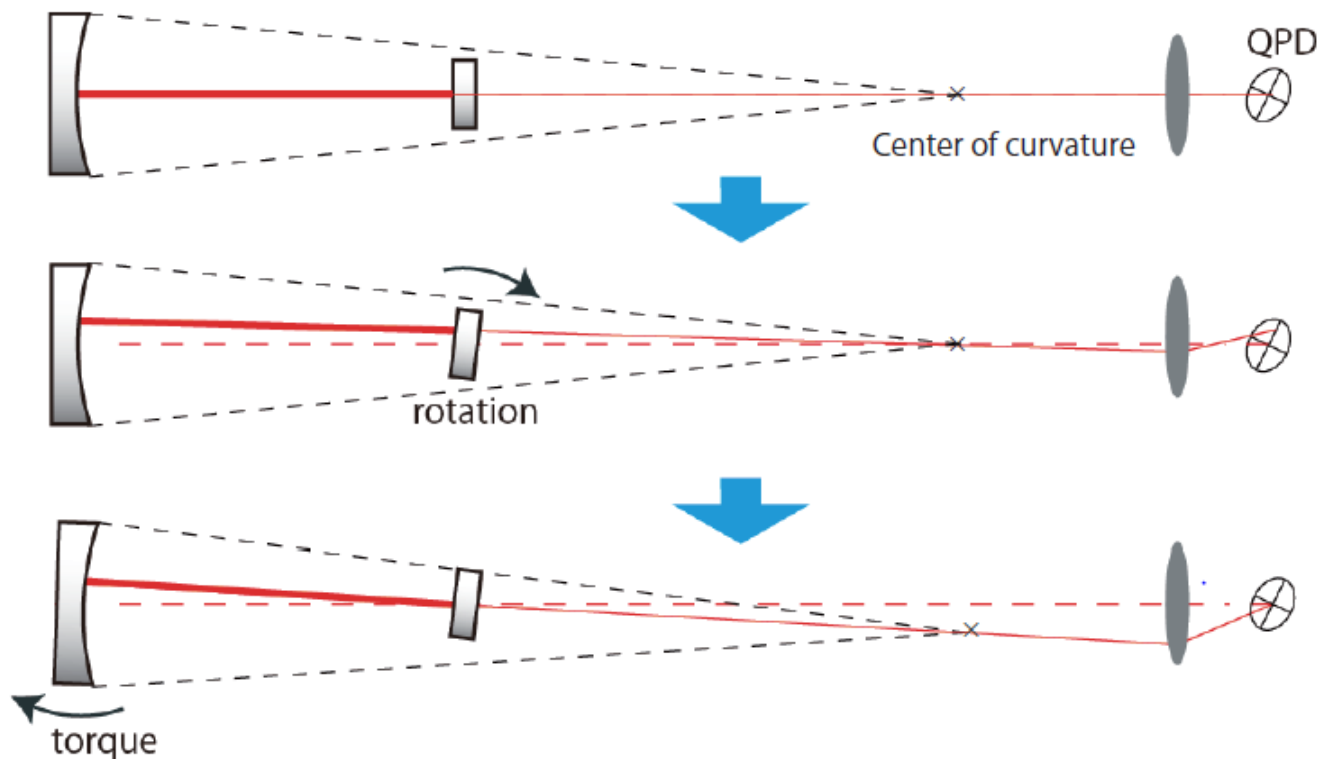
- 輻射圧実験において現在最も大きな問題となっているのが、輻射圧による角度揺れが引き起こす共振器の不安定性である。



# 解決案

## □ 輻射圧を使った角度制御

front mirrorを動かすことで、共振器の軸を制御し、輻射圧が復元力となるようにする。





# まとめ

- ポンデロモーティブスキューズングを利用した QND測定によって、標準量子限界を突破することができる。
- 世界でも未だ観測されていない輻射圧雑音を観測し、実際にQND測定が可能かを研究中である。
- この実験では、共振器の角度不安定性だけでなく、多くの問題が残されている(鏡の熱雑音等)
- QND測定が成功した後、実際に重力波検出器においてQND測定を行い、さらなる感度を達成する。



**KAGRA**

The logo for KAGRA features the word "KAGRA" in a bold, black, sans-serif font. The letter "G" is stylized, with its left half filled with a solid blue color and its right half being an outline. A thin, blue, curved line swooshes around the letters, starting from the bottom left of the "K", looping under the "A" and "G", and then curving over the "R" and "A".

**END...**