

Quantum fluctuations affect macroscopic objects

Sequino, Valeria, and Bawaj, Mateusz. Nature 583 (July 2, 2020): 31–32. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01914-4>.

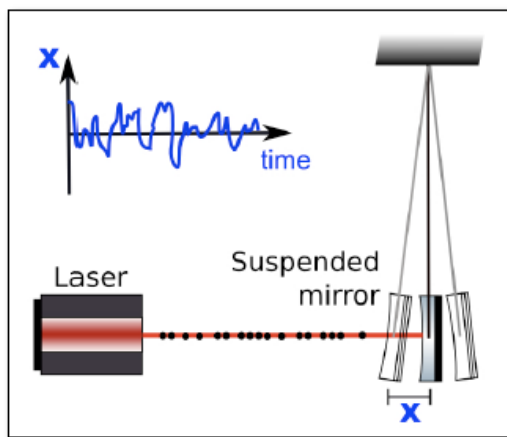
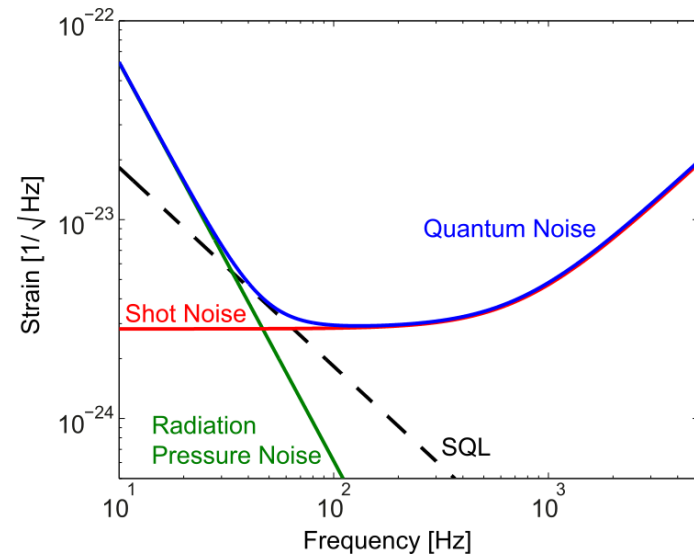
Valeria Sequino
and
Mateusz Bawaj

Presentation for COST Action CA17137
A NETWORK FOR GRAVITATIONAL WAVES, GEOPHYSICS AND MACHINE LEARNING (G2net)



Standard quantum limit

$$\Delta\chi\Delta\rho \geq \frac{\hbar}{2}$$

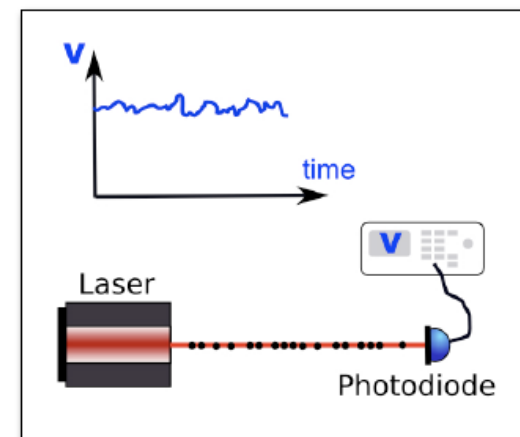


photon radiation pressure noise

$$h_{\text{sn}}(f) = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{\hbar c \lambda}{2\pi P}}$$

wavelength
optical power
Mirror mass Arm length

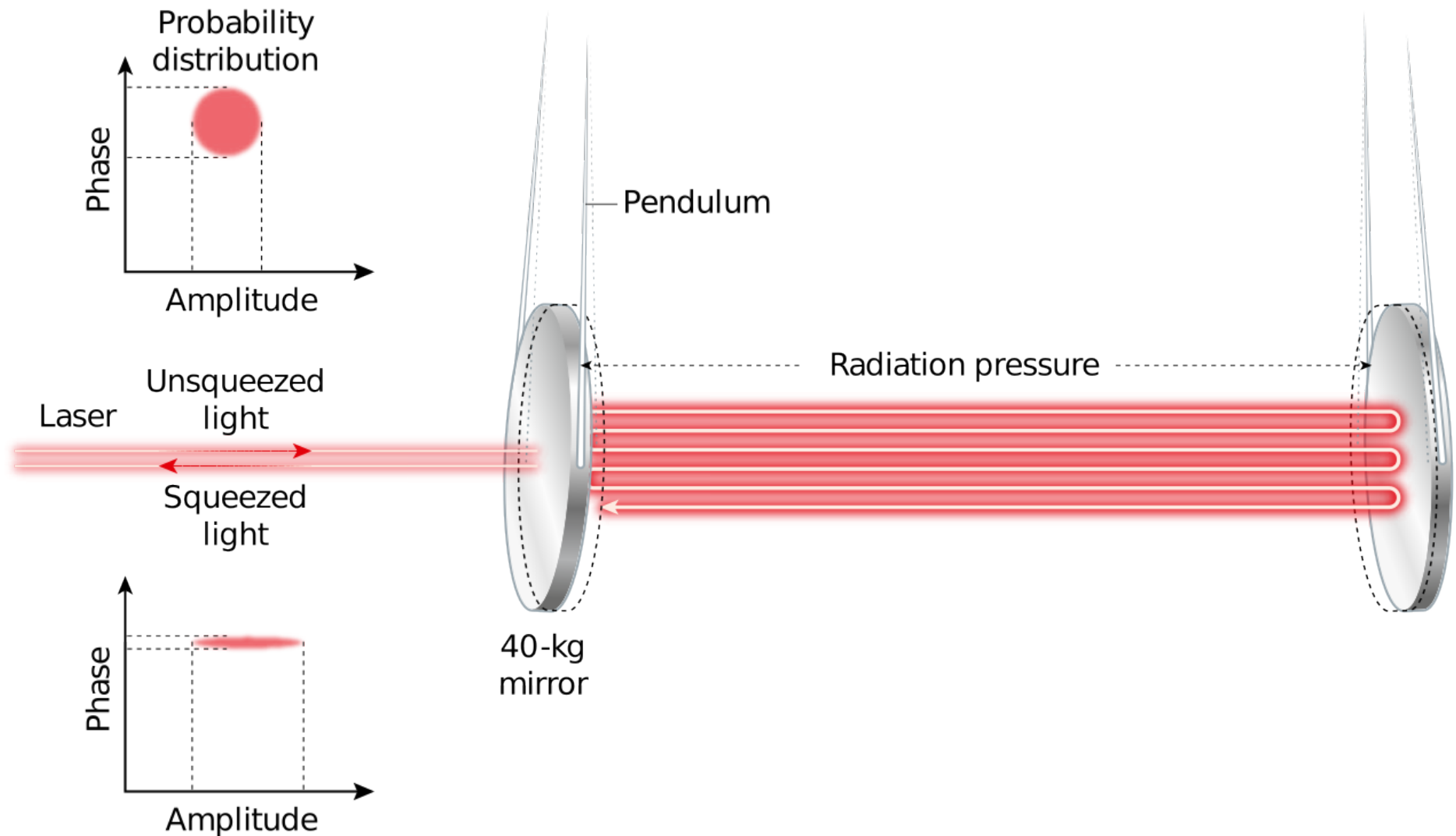
$$h_{\text{rp}}(f) = \frac{1}{m f^2 L} \sqrt{\frac{\hbar P}{2\pi^3 c \lambda}}$$



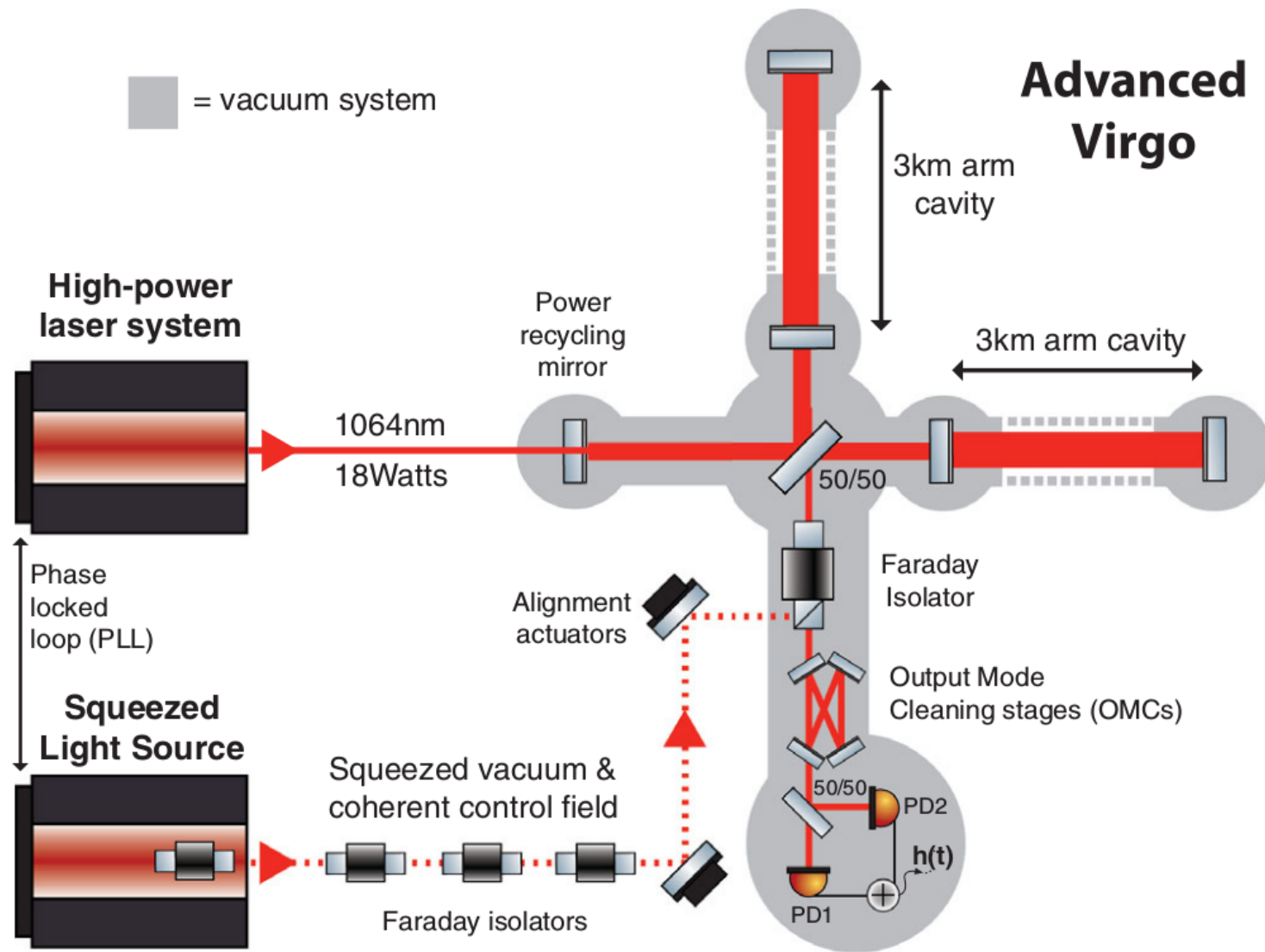
photon shot noise

REFERENCES: DOI:10.1088/0264-9381/31/18/183001 (Chua)

Ponderomotive effect

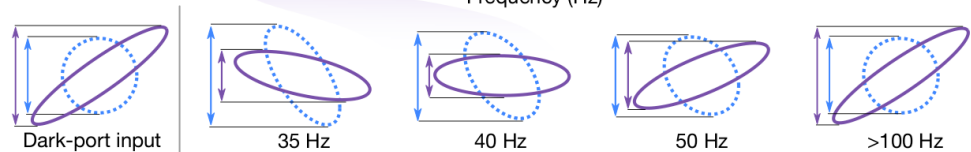
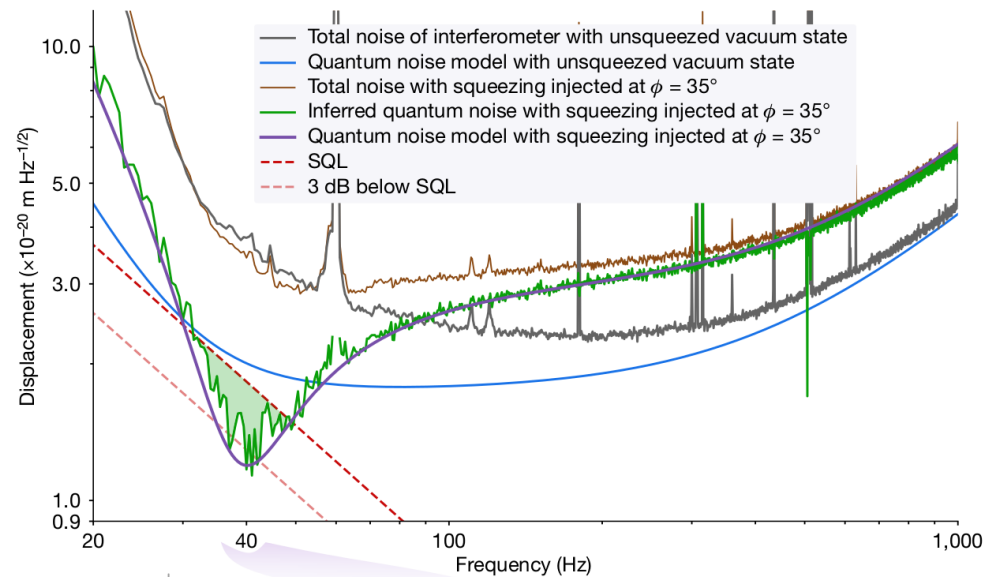
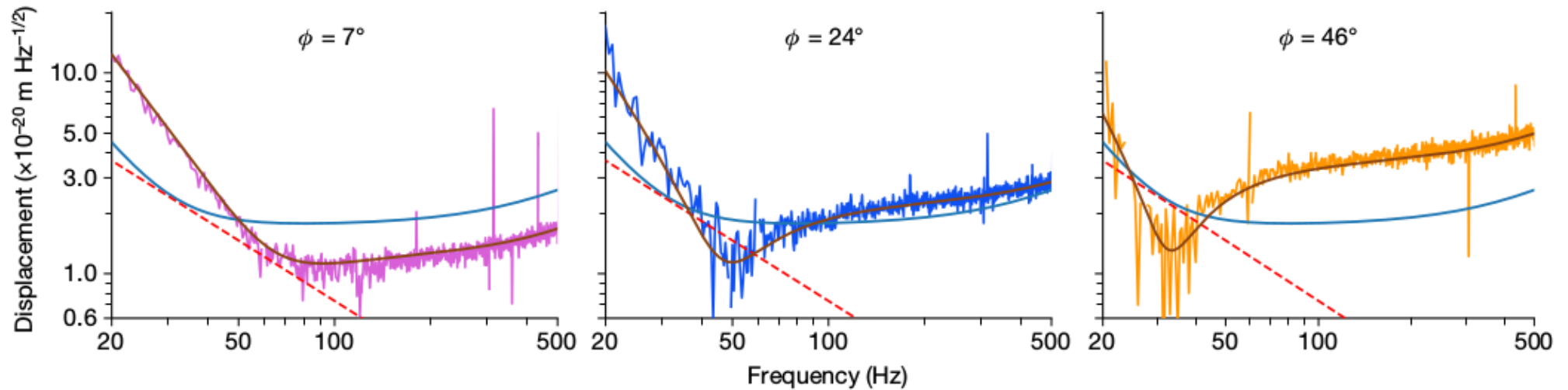


Interferometer



Acernese, F., et al. "Increasing the Astrophysical Reach of the Advanced Virgo Detector via the Application of Squeezed Vacuum States of Light." *Physical Review Letters* 123, no. 23 (December 5, 2019): 231108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.231108>.

Technique



Conclusions

News & views

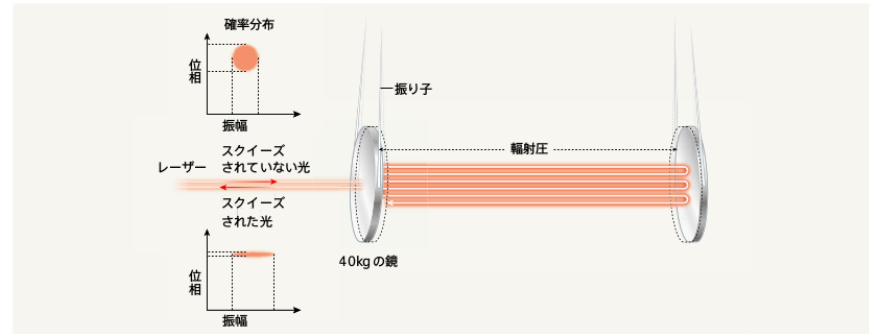


図1 重力波検出器の1つのアームにおけるポンドロモータップ効果による光スクイズング

重力波検出器は、両端に鏡がある長さ4kmの光キャビティから成る。鏡は振子からなる。光はスクイズ（圧搾）されていない状態でキャビティに入り、光の位相と振幅に関する量子揺らぎは互いに相関していない。循環する光の輻射圧で鏡の振動運動が生じ、キャビティ内の光の位相のずれを起こし、振幅と位相の量子的相関を作る（ポンドロモータップ効果）。このため、キャビティを出る光はスクイズされている。この例では、位相の不確定性は減り、振幅の不確定性は増えた。Yuらは、この効果で重力波検出器の測定精度を上げ、標準量子限界を超えることができることを示し、さらに輻射圧雑音（光が鏡に及ぼす力の微小な変化）が鏡の運動に寄与することを示した¹。

デロモータップ効果をスクイズド真空状態とともに使い、キャビティの鏡の位置の測定において量子雑音をSQL以下に減らすことができるかを調べた。

Yuらは、2つの条件でLIGO干渉計の中の雑音を測定した。一方は干渉計の出力ポートにスクイズド真空状態を

の低減に位相スクイズド真空状態を使っているが、干渉計の鏡がもたらす相関は考慮していない。この方法は、100Hz以上で検出帯域上限までの周波数の重力波信号でのみ、感度を改善する⁶。これに対してYuらの技術は、広帯域の検出性能を改善する可能性がある。

References:

- members of the LIGO Scientific Collaboration, Haocun Yu, L. McCuller, M. Tse, N. Kijbunchoo, L. Barsotti, and N. Mavalvala. “Quantum Correlations between Light and the Kilogram-Mass Mirrors of LIGO.” *Nature* 583, no. 7814 (July 2020): 43–47. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2420-8>.
- Acernese, et al. “Quantum Backaction on Kg-Scale Mirrors: Observation of Radiation Pressure Noise in the Advanced Virgo Detector.” *Physical Review Letters* 125, no. 13 (September 22, 2020): 131101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.131101>.
- Sequino, Valeria, and Bawaj, Mateusz. “Quantum Fluctuations Affect Macroscopic Objects” *Nature* 583 (July 2, 2020): 31–32. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01914-4>.