## Detecting Dark Photons with Superconducting Radio-Frequency Cavities



Yanjie Zeng, ITP-CAS

zengyanjie@itp.ac.cn



▲□▶ ▲□▶ ▲□▶ ▲□▶ ▲□ ● ● ●



September 13, 2023, Lecce

based on

arxiv: 2305.09711 with Tang, Wang, Chen, Li, Yang, Feng, Sha, Mi, Shu et al ongoing work with Chen, Li, Liu, Liu, Shu ongoing work with Chen, Li, Liu, Shu, Yang • Dark photons: gauge boson of a hidden U(1) symmetry

- Couple with photons via  $\mathcal{L}_{int} = \epsilon F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu}$
- Various possible production mechanism candidates for wavelike dark matter relativistic background:

e.g. decay from dark matter, thermal relics from the early universe, etc

・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・

Polarization degree of freedom: more information to study

- Modify Maxwell equations as an effective current  $\vec{J}_{eff}$  $\nabla \times \vec{B} = \partial_t \vec{E} + \vec{J} + \epsilon m_{A'}^2 \vec{A'}$
- J<sub>eff</sub> excites cavity mode: the strength characterized by overlapping factor

・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・

- Existing cavity experiments, e.g.: SQMS [Cervantes et al 22']
  Dark SRF [Romanenko et al 23']
- Constraints from axion haloscopes:

```
ADMX, HAYSTAC, etc
```

## First Scan Search for DPDM with SRF cavities

- ▶ Superconducting Radio-Frequency (SRF) Cavities: extremely high  $Q_0 \simeq 10^{10} \rightarrow \text{improve SNR} \propto Q_0^{1/4}$
- 1-cell elliptical niobium cavity with mechanical tuner, immersed in liquid helium at T ~ 2 K
- TM<sub>010</sub> mode: z-aligned *E*, maximizes the overlap for dark photon dark matter (DPDM)







・ロト ・ 国 ト ・ ヨ ト ・

#### Experiment and Constraints

- ▶ Scan covers 1.37 MHz of DPDM frequency around 1.3 GHz
- First scan search for DPDM and the most stringent constraints in most excluded regions.



### Modulated Signal from Galactic Dark Photons

- Galactic dark photons from DM decay: cascade decay from DM halo parametric decay from axion stars
- Angular-dependent signal ∝ C(θ) → modulation as the Earth rotates
- Production is polarization-dependent, modulations for longitude and transverse modes are opposite





#### SRF Constraints for Galactic Dark Photons

#### Same dataset as DPDM search

► Scanned range within galactic dark photon bandwidth → combine all scan steps to analyze

► Longitude mode has better sensitivity because of the larger spatial wavefunction  $\sim \omega_{A'}/m_{A'}$ 



▲ロ ▶ ▲周 ▶ ▲ 国 ▶ ▲ 国 ▶ ● の Q @

#### Quantum Noise Limit in Scan Search



Read out part introduce extra noise
→ reduce sensitivity outside response
bandwidth Δω<sub>r</sub>



▲□▶ ▲□▶ ▲□▶ ▲□▶ □ のQで

- $\Delta \omega_r$  determine the efficiency of a scan search
- How to overcome read-out noise: squeezing [HAYSTAC 20'] quantum non-demolition measurement [Dixit et al 20']
  PT-symmetric amplifiers [Li, Ma, Chen et al 20']

#### Simultaneous Resonant Broadband Detection

- A multi-mode system significantly enhances Δω<sub>r</sub>
- Compatible with all EM resonators for ultralight bosons



► Scan several orders of frequency within one single step → remarkably boost scan search





◆□▶ ◆□▶ ◆三▶ ◆三▶ 三三 - のへで

- **SRF cavities** are powerful for dark photon detection.
- The first scan search for dark photon dark matter is conducted, which gives the most stringent limit in most excluded regions.
- Galactic dark photons with rich information can be studied by a modulation analysis with data in the DPDM search.

・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・
・

Connecting multiple resonators can remarkably boost ultralight boson search.

# Thank you!

▲□▶ ▲□▶ ▲ 三▶ ▲ 三▶ 三三 - のへぐ