

Quax: Search for Axion Dark Matter



Claudio Gatti – LNF 4 Luglio 2016

1.5'

Assioni

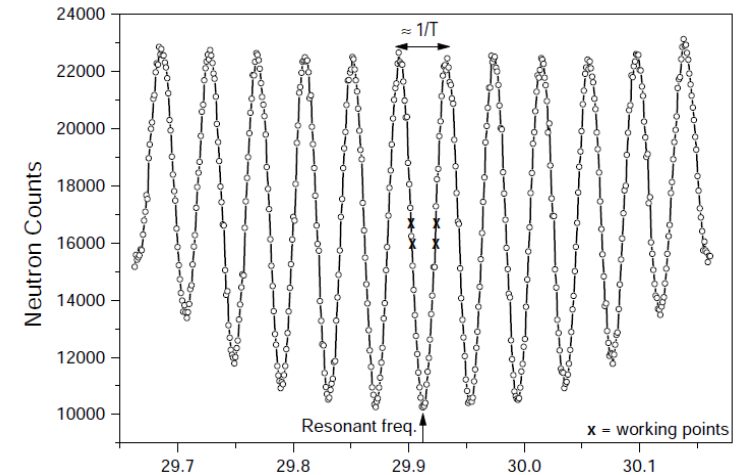
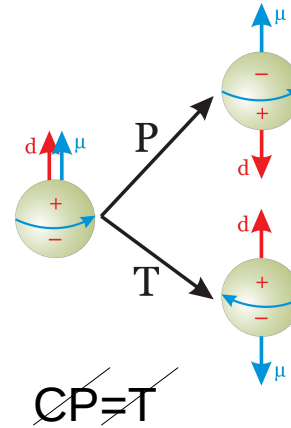
Violazione di CP nelle interazioni forti

Limite sperimentale: $nEDM < 2.9 \times 10^{-26}$ e cm

$$L_{\text{QCD}} = \dots + (\theta g^2 / 32\pi^2) \text{Tr}(G_{\mu\nu} \tilde{G}^{\mu\nu})$$

$$nEDM_{\text{expected}} \sim \theta 10^{-16} \text{ e cm}$$

$$\theta_{\text{exp}} < 10^{-10}$$



$$h\nu = |2\mu_n B \pm 2d_n E|$$

$$\theta_{\text{Tot}} = \theta_{\text{QCD}} - \theta_{\text{EW}} < 10^{-10}$$

Dalle interazioni forti Dal settore debole (massa quarks)

“a” campo assione

$$\mathcal{L}_\theta = \theta_{\text{total}} \frac{\alpha_s}{16\pi} G_a^{\mu\nu} \tilde{G}_{a,\mu\nu} \Rightarrow \mathcal{L}_a^{\text{eff}} = \left(\theta_{\text{total}} + \frac{a}{f_a} \right) \frac{\alpha_s}{16\pi} G_a^{\mu\nu} \tilde{G}_{a,\mu\nu} + (\partial_\mu a)^2$$

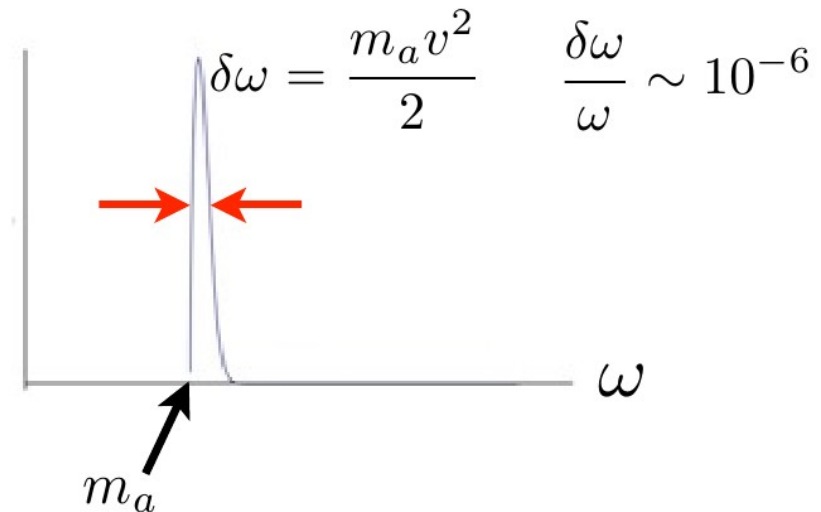
Assioni come Cold Dark Matter

$$\rho_{\text{CDM}} \simeq 0.3 \frac{\text{GeV}}{\text{cm}^3} = m_a n_a$$

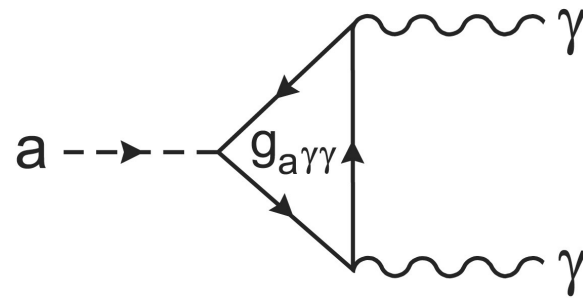
$$n_a = 3 \times 10^{12} (10^{-4} \text{ eV} / m_a) 1/\text{cm}^3$$

$$v \lesssim 300 \text{ km/s} \sim 10^{-3} c$$

$$a(t) = a_0 \cos(m_a t)$$



Interazioni degli Assioni



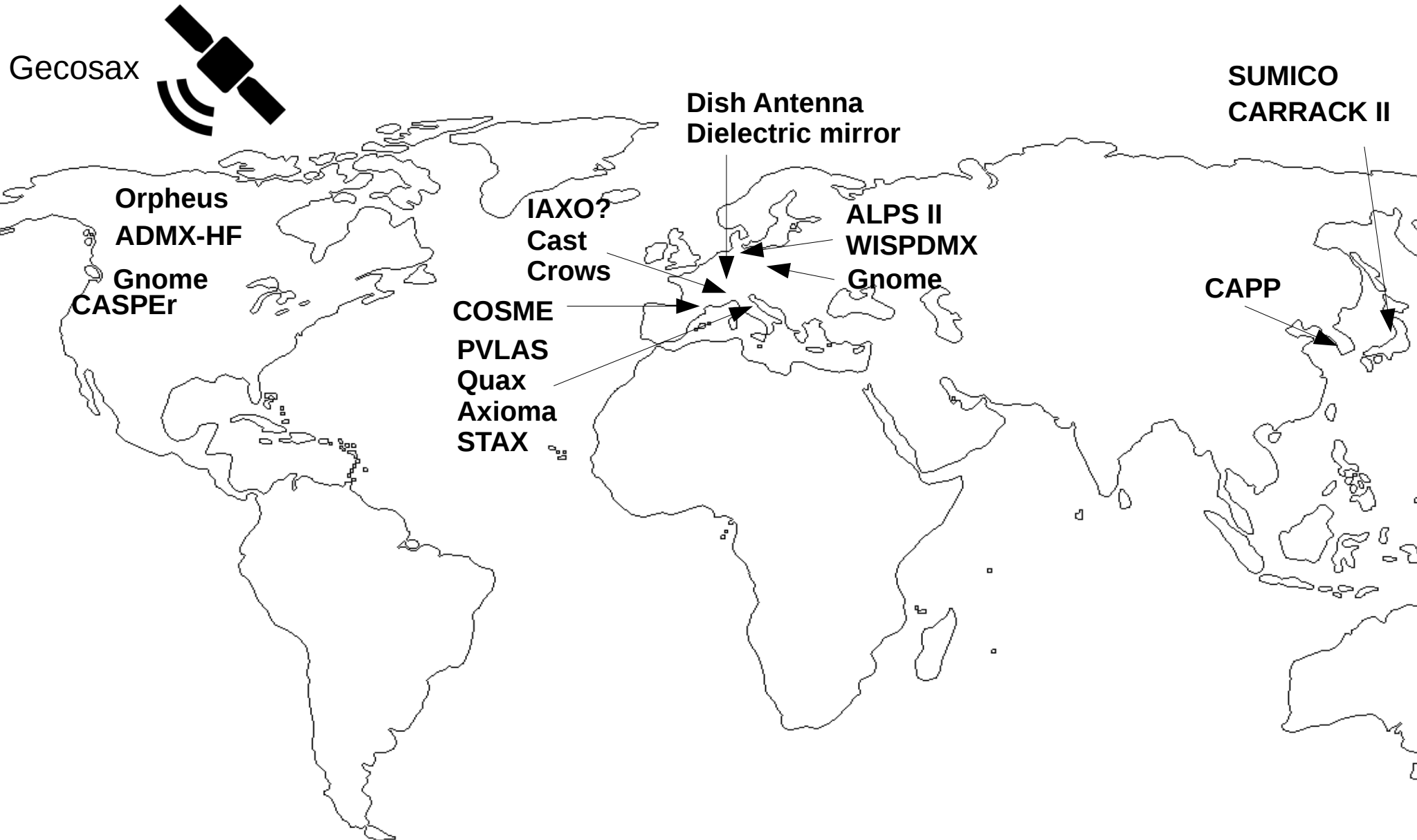
$$\mathcal{L}_{\text{int}} = i \frac{g_{aNN}}{2m_N} \partial_\mu a (\bar{N} \gamma^\mu \gamma_5 N) + i \frac{g_{aee}}{2m_e} \partial_\mu a (\bar{e} \gamma^\mu \gamma_5 e) + g_{a\gamma\gamma} a \mathbf{E} \cdot \mathbf{B}$$

CASPER

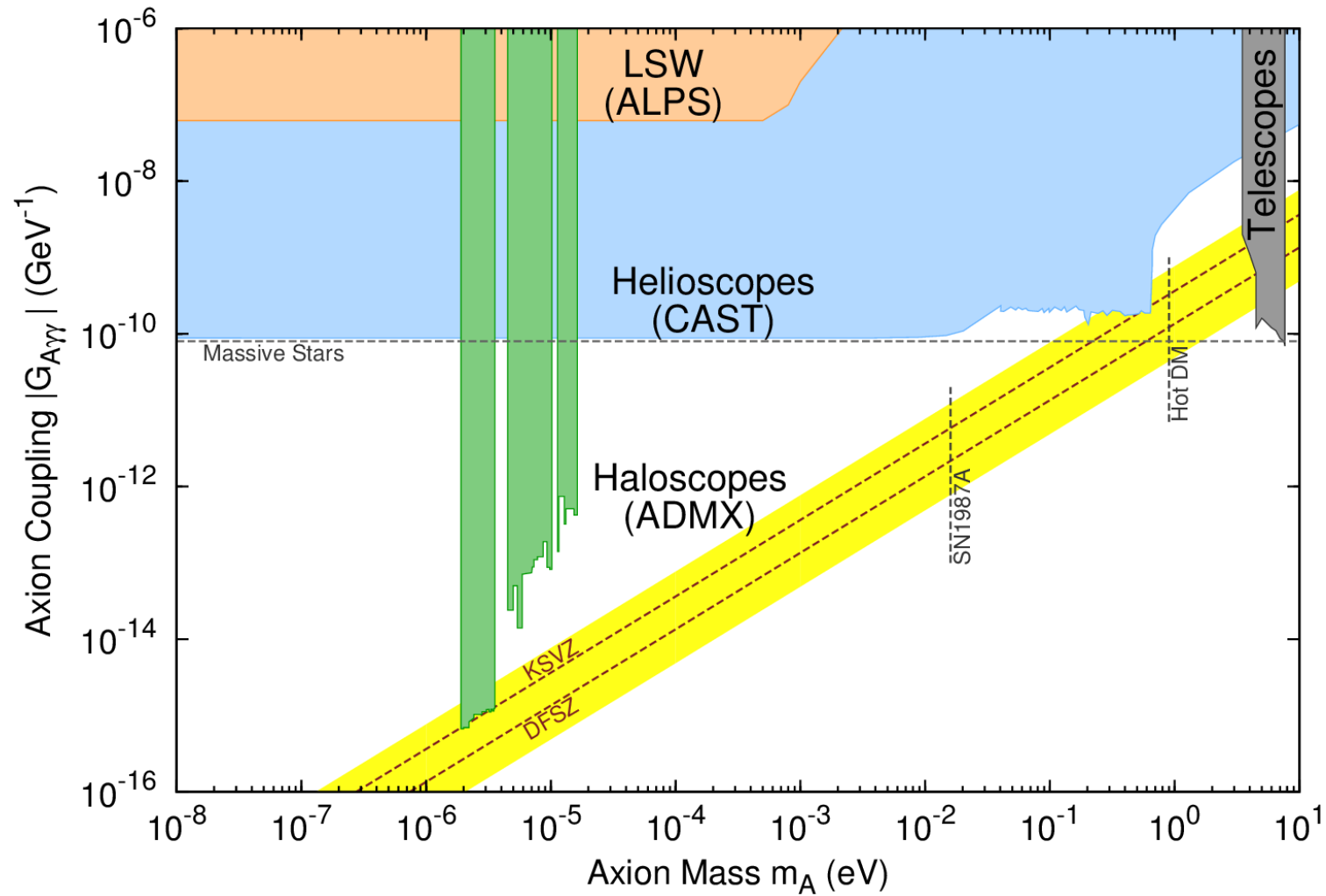
Quax
Axioma
Gnome

Cast
Iaxo
Sumico
ADMX
PVLAS
Crows
ALPS
Cosme
Carrack
Gecosax
Telescopes
...

Ricerche di Assioni



Limiti



Quax: Search for Axion Dark Matter

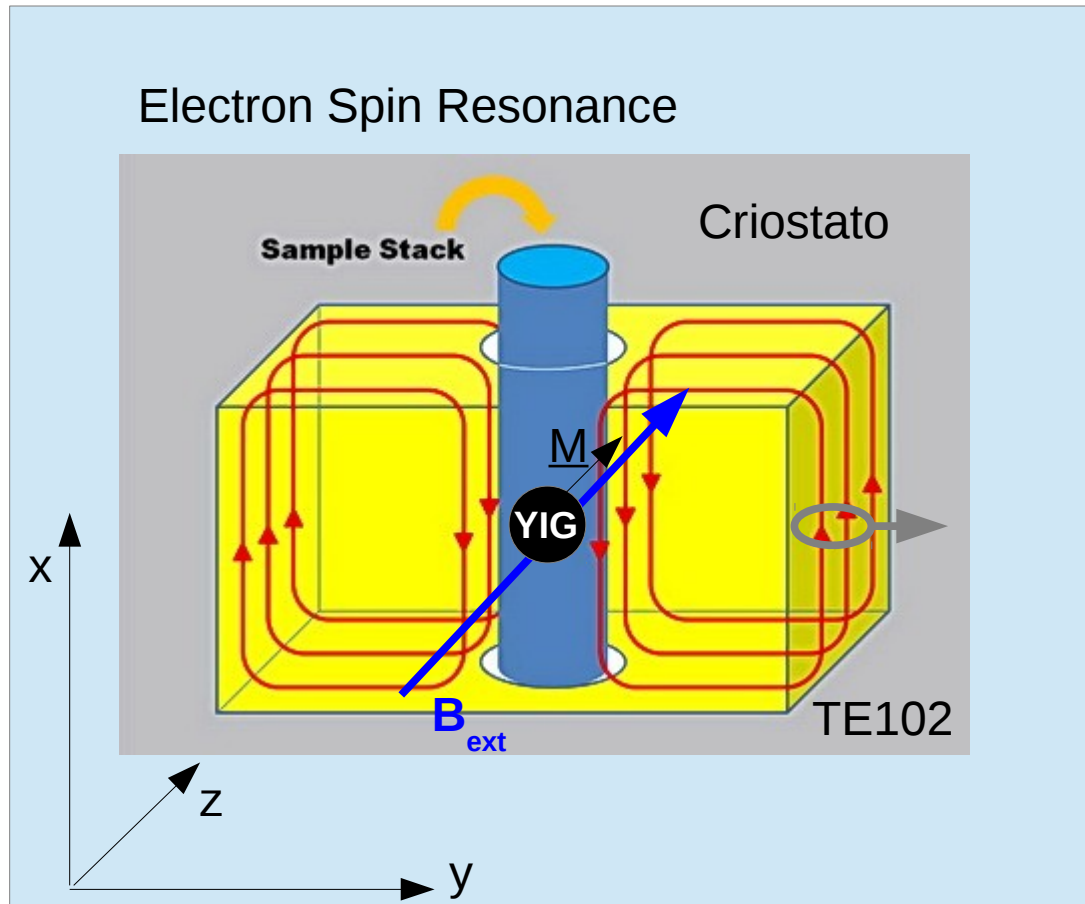
Axion
Cold Dark Matter

$$m_a = 10^{-4} \text{ eV}$$

$$v_a = 230 \text{ Km/s}$$

$$n_a \sim 3 \times 10^{12} \text{ axions/cm}^3$$

Axion wind



Yttrium Iron Garnet (YIG)
 $N_s = 10^{28}/\text{m}^3$

$$-\frac{g_p \hbar}{2m} \sigma \cdot \nabla a$$

$$B_a = 9.2 \cdot 10^{-23} \left(\frac{m_a}{10^{-4} \text{ eV}} \right) \text{ T}, \quad \frac{\omega_a}{2\pi} = 24 \left(\frac{m_a}{10^{-4} \text{ eV}} \right) \text{ GHz}$$

Quax: Search for Axion Dark Matter

$$P_{\text{out}} = \frac{P_{\text{in}}}{2} = 8 \times 10^{-26} \left(\frac{m_a}{2 \cdot 10^{-4} \text{ eV}} \right)^3 \left(\frac{V_s}{1 \text{ liter}} \right) \left(\frac{n_S}{10^{28} / \text{m}^3} \right) \left(\frac{\tau_{\text{min}}}{10^{-6} \text{ s}} \right) \text{ W}$$

$$P_{\text{out}} \propto g_{aee}^2 \quad 2.4 \times 10^{-27} \text{ W @ 15 GHz } (6 \times 10^{-5} \text{ eV})$$

Amplificatore Lineare (SQL limit):

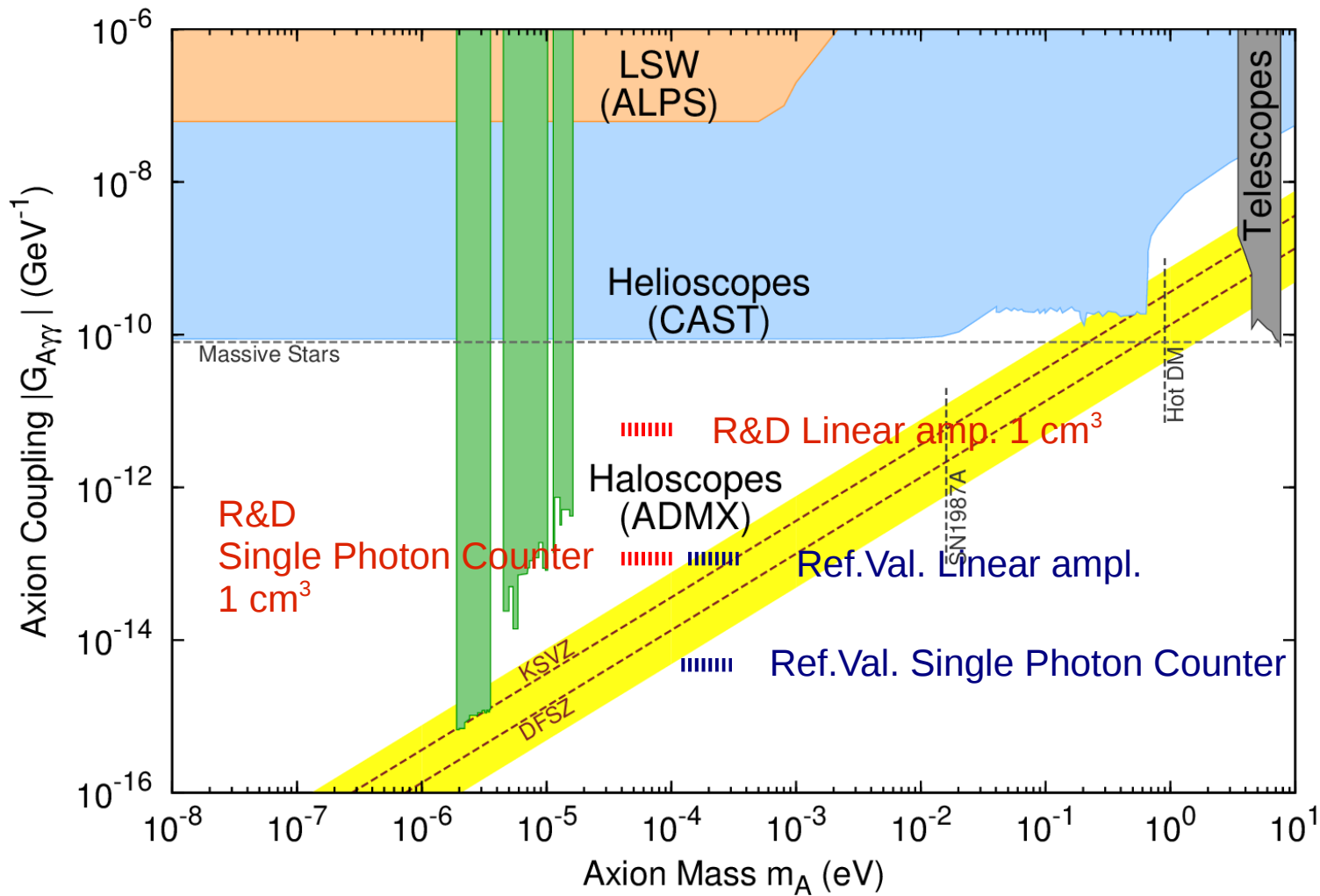
$$P_{\text{min}} = \hbar \omega_a \sqrt{\frac{\Delta f}{t_m}} \quad \begin{array}{l} 5 \times 10^{-23} \text{ W @ 48 GHz } (2 \times 10^{-4} \text{ eV}) \\ 8 \times 10^{-24} \text{ W @ 15 GHz } (6 \times 10^{-5} \text{ eV}) \end{array}$$

Single photon counter:

$$N = \eta (R_a + R_t) t_m \quad P_{\text{min}} = \frac{h \nu}{t_m} \quad \begin{array}{l} 3 \times 10^{-27} \text{ W @ 48 GHz } (2 \times 10^{-4} \text{ eV}) \\ 1 \times 10^{-27} \text{ W @ 15 GHz } (6 \times 10^{-5} \text{ eV}) \end{array}$$

$$R_t = \bar{n} / \tau_c \quad t_m = 10^4 \text{ s}$$

Limiti



$$g_{aee}^{\text{DFSZ}} \approx \frac{m_e}{f_a} \approx g_{a\gamma\gamma}^{\text{DFSZ}} (\text{GeV}^{-1})$$

Quax R&D 2017-2018

Searching for galactic axions through magnetized media:
the QUAX proposal

R. Barbieri^a, C. Braggio^b, G. Carugno^b, C.S. Gallo^b, A. Lombardi^c, A.
Ortolan^c, R. Pengo^c, G. Ruoso^c, C.C. Speake^d

arXiv:1606.02201

Quax R&D 2017-2018

Studio di fattibilità per un esperimento di ricerca di assioni cosmologici mediante la loro interazione con materiale magnetizzato.

L'R&D prevede:

- Studio e realizzazione di **cavità risonante** con $Q \sim 10^6$ a $f \sim 15$ GHz. La cavità deve operare in un campo magnetico fino a $B=2$ T (**LNF**).
- **Magnete superconduttore** $B_{\max} = 2$ T con uniformità campo $\Delta B/B \sim 10^{-5}$ all'interno della cavità risonante (**Sa/Na/Ge**).
- Materiali **paramagnetici/ferrimagnetici** (**Pd/LNL/Inrim-To**)
- Sistema di **lettura a basso rumore** (**Pd/LNL**)
- Rivelatori di singolo fotone, **TES** (**CNR-IFN-Tn**)
- Analisi dati, DAQ, GPS (**LNF,Pd,LNL**)

Quax-LNF

Nome	FTE	Profilo
C.Gatti	60% (Resp. Loc.)	Ric.
D.Di Gioacchino	50%	Ric.
G.Lamanna	20%	Ric.
D.Alesini	20%	P. Tecnol.

Quax-LNF Richieste

CONSUMO		
Liquidi Criogenici		k€
Azoto Liquido		0.5
Elio Liquido		7.5
Elio gas		0.3
Totale		8.3
Sviluppo Prototipo		
Cavità+guida Cu		5
Inserto (meccanica)		3
Materiali inserto non magnetici criogenici		2
Termometri		1
Motore criogenico		5
Componentistica SMA criogenica 18 GHz		1
Totale		17
Inventariabile		
Gaussimetro+probes		9
Missioni		
Totale		7
Totale richieste		41.3

Quax-LNF Richieste Lab

Utilizzo laboratorio LAMPS con criostato e strumentazione

Servizi/Personale:

- Tecnico criogenia **3 pm**: progettazione e costruzione discendente e operazioni criogenia.
- Progettista **1 pm**: progetto cavità.
- Tecnico **1 pm**: inserimento cavità; vuoto.
- Servizio RF: utilizzo analizzatore di spettro.
- Servizio elettornica e automazione **1 pm**: controllo motore criogenico.

Backup

Axion Couplings

$$g_{a\gamma\gamma} = \frac{\alpha}{2\pi f_a} \left(\frac{E}{N} - \frac{2}{3} \frac{4+z}{1+z} \right)$$

E/N=0 KSVZ
E/N=8/3 DFSZ
Z=0.3-0.6

$$g_{a\gamma\gamma}^{\text{DFSZ}} \approx 8 \times 10^{-4} / f_a$$

$$g_{aee}^{\text{DFSZ}} \approx \frac{m_e}{f_a} \approx g_{a\gamma\gamma}^{\text{DFSZ}} (\text{GeV}^{-1})$$