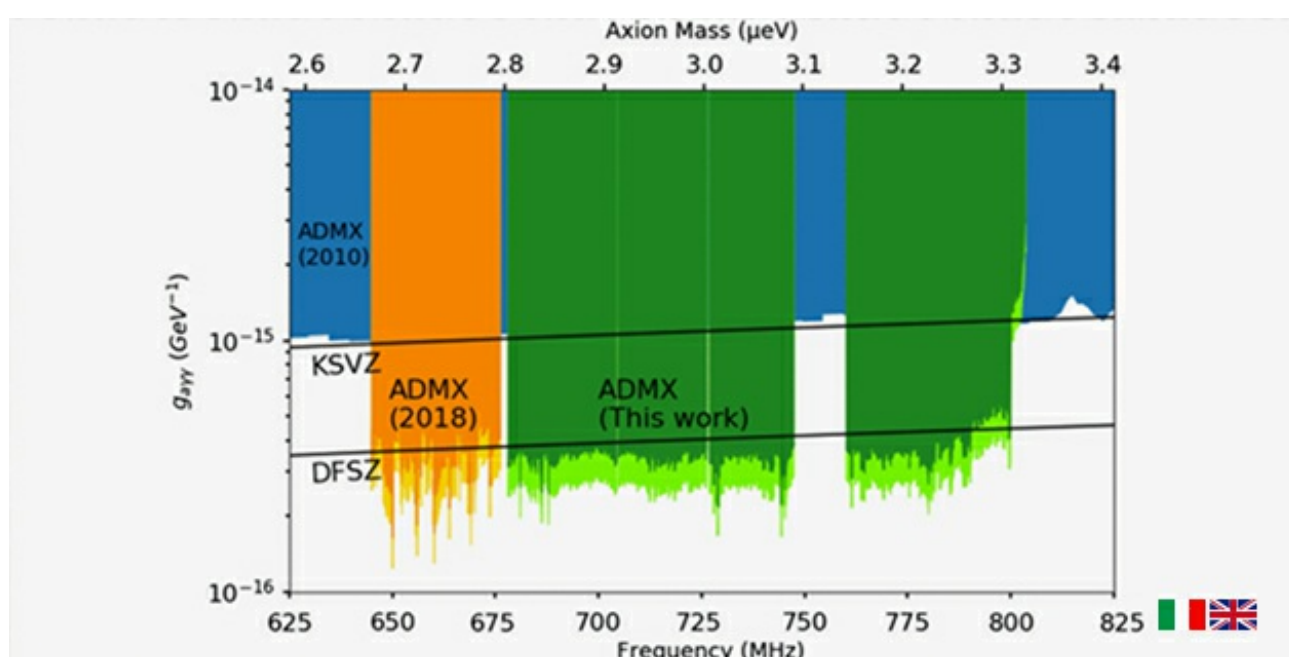


È fatta di assioni la materia oscura?

✍ A. Bettini 📅 26-03-2020 ↗ <http://www.primapagina.sif.it/article/1100>



Accoppiamenti assione-fotone esclusi al 90% di livello di confidenza in funzione della massa dell'assione. / 90% confidence level exclusion of axion-photon coupling as a function of axion mass.

Credits: T. Braine et al. (ADMX Collaboration), Phys. Rev. Lett. **124**, 101303, published under CC-BY 4.0 license.

L'esperimento ADMX (Axion Dark Matter eXperiment) ha recentemente annunciato in una pubblicazione di aver raggiunto la sensibilità necessaria per esplorare la banda di parametri in cui ci potrebbe essere l'assione, nel rilevante intervallo di massa da 1.91 a 3.69 μeV . L'esistenza di queste particelle leggerissime risolverebbe due problemi, uno per ciascuno dei modelli standard attuali, quello delle particelle (SM) e quello della cosmologia (ΛCDM).

L'interazione tra gluoni in cromodinamica quantistica (QCD) ha un termine che causa la violazione di CP nelle interazioni forti. A priori ci si aspetterebbe che fosse dell'ordine dell'unità, ma i limiti superiori sul momento di dipolo elettrico del neutrone implicano che sia $<10^{-9}$. Perché così piccolo? Una soluzione di questo "problema di CP forte" fu proposta da Peccei e Quinn già nel 1977. Essi ipotizzarono una nuova particella pseudoscalare ($J^P=0^-$), chiamata assione, il bosone di Goldstone di una simmetria chirale, simmetria che spontaneamente si rompe a un'imprecisata epoca dell'evoluzione dell'Universo. D'altra parte, in cosmologia, l'assione potrebbe costituire in tutto o in parte la materia oscura. La ricerca degli assioni possibilmente presenti nell'alone della Galassia è

difficile, ma si svolge ormai in diversi laboratori, fra cui quelli dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) con l'esperimento QUAX.

Non ci sono previsioni sulla massa dell'assione, ma si può ragionevolmente aspettare che essa sia fra i μeV e i meV (essendo valori sostanzialmente più alti esclusi da osservazioni astronomiche). Con queste masse piccolissime, gli assioni non si possono rivelare dalla diffusione su qualche bersaglio. D'altra parte, la loro lunghezza d'onda di de Broglie è macroscopica, di parecchi centimetri, sui quali il loro campo è coerente. Come osservato nel 1983 da Pierre Sikivie, si può cercarli convertendo l'onda assionica in un'onda elettromagnetica, in un campo magnetico (effetto Primakoff). Anche se non conosciamo la massa, esistono due modelli, KSVZ di Kim-Shifman-Vainshtein-Zakharov e DFSZ di Dine-Fischler-Srednicki-Zhitnitsky, che predicono una correlazione tra massa e accoppiamento assione-fotone, mostrata nella figura.

L'esperimento ADMX cerca il campo di assioni, in cui saremmo immersi, convertendoli in fotoni a microonde in una cavità immersa in un intenso campo magnetico (l'effetto cresce con B^2). La potenza che si deve rivelare è bassissima, dell'ordine di 10^{-23} W. Di conseguenza si opera in risonanza, scandendo meccanicamente a piccoli passi, nel tempo, la frequenza, e quindi la massa dell'assione, in cerca di un segnale, in un criostato a diluizione, con un rivelatore delle microonde e catena di amplificazione di rumore estremamente basso.

Come si vede nella figura, l'esperimento ha ora esplorato un intervallo notevole dello spazio dei parametri, molto più ampio di quanto anticipato nel 2018 (l'intervallo senza dati è conseguenza di un'interferenza tra modi della cavità a quelle frequenze). L'esperimento procede verso zone inesplorate di "Assionlandia", sia verso masse maggiori, sia costanti di accoppiamento minori, con i necessari miglioramenti. Buona fortuna!

Is dark matter made of axions?

The ADMX (Axion Dark Matter eXperiment) has recently announced in a publication to have reached the sensitivity level necessary to explore the parameter band in which the axion might be present, excluding it in the relevant mass interval between 1.91 and 3.69 μeV . The existence of these extremely light particles would solve two problems, one for each of our standard models of particle physics (SM) and of cosmology (ΛCDM).

A term in the interaction between gluons in QCD implies CP violation in strong interactions. This term is *a priori* expected to be of the order of unity, but the experimental upper limit on the neutron dipole moment implies it to be $<10^{-9}$. Why so small? A solution to this "strong CP problem" was proposed by Peccei and Quinn back in 1977. They assumed that a pseudoscalar particle ($J^P=0^-$) exists, the axion, which is the Goldstone boson of a chiral symmetry, which spontaneously broke down in a not specified epoch of the evolution of the Universe. On the other hand, in cosmology, the axion might be the cold dark matter (or part of it). The search for axions is very difficult but is now pursued in several laboratories, including the INFN, with the QUAX experiment.

There is no prediction on the mass of the axion, but we can reasonably expect it to be in a range from the μeV and the meV (substantially larger values being excluded by astronomical

observations). With these extremely small masses, we cannot detect axions via scattering on any target. On the other hand, their de Broglie wavelength is macroscopic, of several centimetres, on which their field is coherent. As noticed in 1983 by Pierre Sikivie, we can try to detect them converting the axion field in an electromagnetic field in the presence of a magnetic field (Primakoff effect). Even if we do not know the axion mass, two models exist, KSVZ by Kim-Shifman-Vainshtein-Zakharov and DFSZ by Dine-Fischler-Srednicki-Zhitnitsky, that foresee a correlation between photon-axion coupling and axion mass, as shown in the figure.

The ADMX experiment searches for the galactic field of axions around us converting them in radiofrequency photons in a cavity immersed in a strong magnetic field (the effect is proportional to B^2). The expected power to be detected is extremely low, on the order of 10^{-23} W. As a consequence, one operates in resonance, scanning the frequency (and axion mass correspondingly) in small steps in time, mechanically, in search of a signal. The cavity is in a dilution cryostat, with a microwave detector and amplification chain of ultralow noise.

As we see in the figure, the experiment has now explored a sizeable interval of the parameter space, much wider than that looked at in 2018 (the gap is a consequence of the interference between modes in that interval). ADMX is now moving to unexplored regions of "Axionland" both at larger mass and smaller couplings, with the necessary improvements. Good luck!