

『極低温技術の宇宙研究への応用』

都丸隆行（国立天文台）

E-mail: takayuki.tomaru_AT_ao.ac.jp

AT = @

私がアクシオンを検討したのは10年くらい前なので、少し情報が古いですが、最近ではダークマター検出器のXENONがAxion-likeな粒子が見えたかもしれない、という発表を行っています。もっと少し統計が必要なレベルです。

Q1（加藤太治/NIFS）：アクシオンの photon のエネルギーはどの程度でしょうか？ 検出方法を教えてください。photoionization を用いた手法は同か？ 検出方法による優劣はあるのか。

A1：

① 口頭でお話しましたように、スタンダードな QCD axion では、これまでの観測などから、 μeV - meV 程度の質量領域（フォトンの波長にすると 100MHz - 1THz くらい）が存在可能性の高い領域（axion window）と呼ばれています。ただし、 μeV よりも低い領域は宇宙論での推定による部分が大きく、それほど強い制限では無いようです。また、スタンダードな QCD axion でない理論モデルもたくさんあり、それらでは μeV - meV の質量領域にこだわらなくても良いようです。

② これも model により色々な相互作用・検出法が考えられていますが、磁場の virtual photon と相互作用して real photon を生じる（あるいはその逆）primakov 効果は多くの model で共通のようです。primakov 効果を用いた検出では、マイクロ波キャビティを用いた検出ダークマターアクシオン探査、太陽アクシオン探査、レーザーアクシオン実験などが代表例ですが、後者2つはダイポールマグネットを使います。ソレノイドを活かせるのは、いまのところ、本日紹介したようなマイクロ波キャビティを用いた方法かと思えます。

③ 検出器の優劣は一概に決められません。マイクロ波の検出技術という意味では、ご質問にもあった Rydberg 原子を用いたセンサーは優れた方法で福井大でやっていますが、海外

では超伝導センサーを用いています。また、熱放射 photon が background になるので、マイクロ波キャビティを希釈冷凍機で 100mK 程度まで冷却することのような工夫も行われています。最後に、ボア径の大きな磁石は、キャビティの共振周波数を下げることが出来るので、より低温両側の axion を探査できます。つまり、大きな磁石でこそできる探査領域というものがあります。

Q2 (伊藤篤史/NIFS) アクシオン探査のご提案、とても面白いと思いました。実施できる設備があるのは NIFS か KEK ということでしたが、KEK での実現はどのような状況なのでしょう？つまり今から核融合研で取り組んだ場合に KEK と比べての利点が大きいのであればぜひ進めて欲しいと感じました。

A2 : KEK ではこれまでも axion 探査を検討された先生はいらっしゃいましたが、基本的に加速器を用いない実験は歓迎されず、実施されていないと思います。KEK よりも CERN で実験が進んでいまして、これらは加速器で多用するダイポールマグネットを用いた太陽アクシオン探査やレーザーアクシオンが中心だったと思います。大型ソレノイドを使うというのは NIFS の長所かと思います。ただ、13T マグネットはボア径 60cm だったと思うので、もっと大きなボア径の磁石があればより素晴らしいと思います。

Q3 (室賀健夫/NIFS) : 鏡の冷却方法は？防振はどうするのか。

A3 : 「鏡の冷却と防振を両立する」というのが私のこれまでの主たる研究テーマでした。これを実現するため、①超低振動冷凍機システムの開発、②超高性能熱伝導材の開発（超高純度金属、撚り線形状、接触抵抗低減、サファイア）、③熱伝導体の防振、④低温での変位センサー開発などをやってきています。最終的にこれらの組み合わせで、伝導冷却パスからの振動流入を要求値内に収めています。しかし、このあたりはまだまだ改良の余地があるかと思います。（地味な研究ですけど。）

Q4 (勝川行雄/NAOJ) : 黒色化については私達も衛星搭載装置での迷光除去で使いますが、はがれたりなど苦労した経験もあり、興味があります。可能ならどのメーカーでやられ

ているか教えていただけるとうれしいです (別途でもよいです)。ついでに、アルミの thermal strap も興味があります。よく使う銅よりもよいのですよね？

A4 : ① この黒色コーティング Solblack は、旭プレシジョンの製品です。ただ、塗料ほど弱くはないですが、強く擦ると粉がでます。低磁性型は表面が滑らかで粉は出ないですが、やや光沢があります。別途担当者をメールでお送りします。

② アルミの thermal strap には長所短所があります。純度や形状により熱伝導率は変わるのでケースバイケースですが、大体高純度銅と同じくらいの熱伝導率は得られます。(例えば我々が使っている 6N アルミでは、バルク状のもので 40,000 W/m/K @10K, 細線状のもので 10,000 W/m/K @10K) 程度が得られます。ただ、表面に酸化皮膜があるため接触抵抗が大きいという欠点があります。一方長所としては、磁場に強い、放射線に強い、柔らかいという点が挙げられます。宇宙機だと耐放射線は重要な要素なので、アルミは良いかもしれません。なお、高純度アルミの熱伝導、電気伝導材は住友化学と私の特許になっています (^_^)。

Q5 (村上泉/NIFS) : アキシオン探査の計画は非常に面白いと思いますが、もし、核融合研でこれに取り組む場合に、起こりうる技術的な問題は何かでしょうか？

A5 : すでにアメリカの ADMX, ADMX II、福井大などでもやっていますので、基本的には出来ると思いますが、核融合研の様な大型研究所がトライするのであれば、やはりより低質量領域を探せるボア径が大きく、強力な超伝導電磁石を用意出来るか？かと思えます。私が知っているのは高田さんのところの 13T マグネットですが、確かボア径が 600mm くらいなので、これだと ADMX II と変わりません (磁場は核融合研のものの方が強いはず)。他に面白いマグネットがあれば、オリジナリティを出せるかもしれません。また、大型化すると、マイクロ波キャビティを希釈冷凍機で冷やすのが技術的に難しくなっていきます。正直なところ、もう少し検出方法とかにオリジナリティを出せないかなあ？と思っているところです。どこに存在するかが分からないアキシオンを探るので、この手の実験の最大のリスクは「探査した領域には存在しなかった」というリスクが常にあるということかと思えます。もちろん発見すればノーベル賞は確実ですが、ギャンブル的要素はあります。