日本物理学会2023年秋季大会 講演番号18aRA34-12

超伝導検出器を用いたミリ波領域におけるパラフォトン暗黒物質探索

<u>荻野恭輔</u>,並木飛鳥,難波俊雄^A,成田佳奈香,浅井祥仁, 坂井南美^B,渡邉祥正^C,山本智

東大理,東大素セ^A,理研^B,芝浦工大^C



- 1. パラフォトン/探索の現状
- 2. 探索手法
- 3. 実験のセットアップ
- 4. 本測定
- 5. 信号探索
- 6. 今後の課題とまとめ



パラフォトン(Paraphoton)

- WISP(Weak Interacting Slim Particles):WIMPとは異なり、軽く tabletop実験で探索できる暗黒物質
- 標準模型を超えた理論においてSM粒子からなる"visible sector" と非常に弱く結合する"hidden sector"
- "hidden sector"のうちU(1)対称性に対応するゲージボソン
- →<u>パラフォトン(Dark Photonとも呼ばれる)</u>

標準理論

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu} + J^{\mu}A_{\mu} - \frac{1}{4}X^{\mu\nu}X_{\mu\nu} + \frac{1}{2}m_{\gamma'}\begin{pmatrix}A_{\mu}\\X_{\mu}\end{pmatrix}^{T}\begin{pmatrix}\chi^{2} & -\chi\\\chi^{2} & \chi\end{pmatrix}\begin{pmatrix}A_{\mu}\\X_{\mu}\end{pmatrix}$$

$$\chi: \text{coupling constant} \quad m_{\gamma'}: ^{\prime}: ^{\prime}? ^{\prime}? ^{\prime} + ^{\prime} \times \mathcal{M}$$

パラフォトン探索の現状

arXiv:2308.14656v1 [hep-ex] 28 Aug 2023 FIG. 11.



ミリ波領域に対応した超伝導検出器 SUMIREを用いて探索を行う

現在 $m_{\gamma'}$ ~1meVでは χ ~10⁻⁹





1. パラフォトン/探索の現状

2. 探索手法

3. 実験のセットアップ

4. 本測定

5. 信号探索

6. 今後の課題とまとめ





- 銀河に存在する暗黒物質全てがパラフォトンであると 仮定
- パラフォトンはcoupling constant xによって通常の 電場を含むため、金属に入射すると内部の自由電子を 振動させる
- 境界条件によって転換光は金属表面から垂直に放射される

<u>→本実験においてはアルミ製ミラーによって転換光を</u> <u>発生させる</u>

転換光

パワー:
$$P_0 = \frac{2}{3} \chi^2 A_{eff} \rho_{DM}$$
 ρ_{DM} :DM密度
 A_{eff} :有効面積
同波数: $\omega = \frac{m_{\gamma'}}{\sqrt{1-v^2}}$ v :DM速度

感度向上のためミラーの形状を球 面にし検出器に集光







キャリブレーション用の台 ※液体窒素/室温黒体を使用

<mark>SUMIRE</mark>

ALMA型のカートリッジ受信機 を使用した超伝導検出器 周波数帯域:216~264 GHz 分解能:88.5 kHz dead timeほぼなし

 $\chi \propto (A_{eff})^{-\frac{1}{2}}$ より実験室の規模が許す範囲 でミラー径を最大化したセットアップ

想定している信号の形状



223GHzにパラフォトンの質量が対応している 場合のピークの形状





216~264 GHz



- 各*f_{Lo}*にて40 MHz(<< 測定帯域2 GHz)ずつず
 らして4パターン測定
 - ・ 各測定ごとに5分間ずつ液体窒素温度/室温黒 体を用いたキャリブレーション測定を実施
 - 同一条件で2回ずつ繰り返して測定を実施→ 総積分時間4 時間

周波数ごとの積分時間40分



スプリアス: 測定の際に混入する鋭いピーク 特にダウンコンバート後の周波 数帯(2 GHz帯や4~8 GHz帯)に混入することが多い

→探索前に排除(DMのシグナルを落とさないようキャリブレーションデータを使用)





パラフォトン/探索の現状 探索手法 実験のセットアップ 本測定 信号探索

6. 今後の課題とまとめ



今回は信号探索の手法確立のため、全データ量の1%に当たる 224~226 GHz帯域のデータを対象に探索を行った

探索手法

探索したキャリブレーション後のミラース ペクトル



 キャリブレーション後のミラースペクトルを30点ごとに区切り、ベースラインを二次関数として ピークのフィットを行なった

各点につけるエラーは事前に行ったベースラインのフィット結果から等しく0.068 Kとした

ピークフィットの一例



15





 P_{fit} (フィットで得たシグナル強度)の分布

シグナルパワーをその標準偏差で規格化した分布



- 標準偏差∆P_{fit} = 3.8×10⁻¹⁹ Wの正規分布
 に従う分布が得られた(当初想定していた
 ノイズ分布)
- 両側に若干のexcessが残っている
 →ベースラインのモデルに合わないもの
 が残っているのが原因と考えられ、さら
 に調査



まとめ・今後の展望

- 今回224~226 GHzの範囲で試験的な探索を行い、期待していたレベルの感度が得られた
- ベースラインによる不定性をさらに調査する必要がある→その後、
 全体のデータでの解析を行う

<u>アライメントなどの実験の不定性を考慮して216~264 GHz帯域全体</u> <u>でのパラフォトンの最終的な感度を算出する</u>

同様の手法で受信機のカートリッジを入れ替え300~500 GHz帯域に 探索範囲を拡大する予定