

上岡修星、成田佳奈香、稲田聡明^、難波俊雄^、浅井祥仁、 吉岡孝高^B、五神真、

松尾晶^c、金道浩一^c、野尻浩之^D

東大理,東大素セ^A、東大工^B、東大物性研^C、東北大金研^D





真空複屈折とは

- 標準模型や多くのnew physicsは 真空中の電磁場の相互作用を予言
- ・磁場と光の相互作用で屈折率に異 方性→真空複屈折
- Δ n = n_{||} n_⊥ = k_{CM} × B²
 (QED理論値 k_{CM}=4.0×10⁻²⁴[T⁻²])
- 未知粒子も寄与: 0.1eVのALPsに
 対して地上実験で最も感度が良い
- 世界中で実験が行われ、伊の groupがQEDまでfactor 20まで達 したが、未発見

我々はOVAL実験と称して 真空複屈折探索実験を行っている









- ・真空複屈折で生じる偏光変化を偏光子を用いて測定
- ・パルス磁石を採用: 強磁場/波形情報からBG分離
- Fabry-Pérot共振器を用いることで2/π×フィネス回光が往復
- ・感度は磁場強度²×磁場長×フィネス×測定時間^{1/2}

実験セットアップ



- 2.4mの光学定盤で実験
- 9T, 20cm, パルス幅1msのパルス磁石
- 1.4m, フィネス30万以上の共振器
- ・
 ・
 共振のFWHM 3pm: レーザー周波数を feedback制御



OVAL実験のこれまで/これから

 テスト運転として、1年前に磁場9T、0.05Hzの繰り返しで 1日測定し、QED理論値まで後5×10³倍の感度に到達。



感度向上に向けて:ノイズ減らし

 ・ミラーの静的複屈折で偏光が変わり10~1ppmは偏光板を 常に通過する→BG光。感度を決める要因



shot noiseと比べると1桁の改善の余地がある →まずは共振器自体を安定にする!

感度向上に向けて:ノイズ減らし

 ・ミラーの静的複屈折で偏光が変わり10~1ppmは偏光板を 常に通過する→BG光。感度を



shot noiseと比べると1桁の改善の余地がある →まずは共振器自体を安定にする!



共振器安定性の改善の取組

- 磁石なしでfinesse 470,000、L=1.4mの共振器を構築
- •通常光の強度雑音から共振内の強度雑音を評価
- ・共振周波数と入射光周波数とのズレが通常光の強度雑音を 生む→これを補うためのfeedback制御を改善



安定化後の感度評価

- •次にBG光の強度雑音を測定し、複屈折感度を実測(黒線)
- ・感度は4倍向上⇔既知のノイズからの見積りと実測感度が乖離



雑音源考察/これから

同じ擾乱でも、共振周波数

からの離れた光ほど強度雑

音への寄与が大きくなる

▶BG光にとって安定性の要求がより厳しい可能性がある

ミラーの性質で、BG光にとっての共振 周波数は入射光からDC的にずれている

感度見積もり修正版



感度向上に向けて:長期安定DAQ

・テスト測定では以下の2点が長期化の課題に

- 1. 長期的なfeedback信号のoffsetのdrift→頻繁な手動調整
- 2. アライメント変動→液体窒素使用に伴う低温ガスの漏れが原因???



長期DAQに向けた対策

- offset調整も自動化→共振器単体では1week以上自動で 運用できる/強度変動は±5%程度を確認@室温
- 密封性と熱変形の少なさ→薄い(0.8mm)SUS容器を作成
- チャンバー同士を直管で接続しその横に容器設置→2時 間毎にLqN₂を注いで低温ガスの寄与を調査 1日間の出力強度変動





・始め6時間は共振時間が短くなったが以降は常温と
 同程度に安定→ガスの対策はOK

長期DAQのこれから

- 低温ガスの漏れ出しは抑えられた。光学系の雑音減ら しと並行して
 - チャンバーと接続した際の熱伝導対策
 - 熱収縮による磁石の位置の変動の評価 をなど行う
- その後、光学系に組み込み1週間のDAQを行いテスト。
- 現状のノイズレベルと磁場でもパルス磁石を使った実 験としては世界最高感度に。 感度向上で真空度(~10⁻⁶ Pa)も要求される。



まとめ

- 真空複屈折はQEDや標準理論を超えた物理で予測される真空中の電磁場の相互作用である。
- パルス磁石とFabry-Pérot共振器を組み合わせたセット アップを開発し、感度向上にむけたアップグレード中
- ・ 複屈折雑音は、テスト時の最大のノイズ源を解決→目 標感度に至らないため検討を続ける
- 長期運転については、制御システムの問題と低温ガスの問題を解決し、セットアップに組み込む準備中
- 磁石のアップグレードについては次のトーク