

課題名 (タイトル) :

X 線偏光計の電場シミュレーション

利用者氏名 : ○金子 健太*, 北口 貴雄*

所属 : *本所 仁科加速器研究センター RIBF 研究部門, 玉川高エネルギー宇宙物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

宇宙からの X 線は、発見から 50 年以上経ち、位置・エネルギー・時間を用いた精密な測定が行われてきた。しかし偏光は 1 例を除いて測定されていないため、X 線宇宙物理学に残されたフロンティアである。我々は NASA/GSFC と協力して、X 線偏光に感度のあるマイクロパタンガス検出器を開発しており、将来は弾道ロケットもしくは衛星に偏光計を搭載して、宇宙 X 線を観測する予定である。

光電効果は、X 線と物質の支配的な相互作用である。放出される光電子は、入射 X 線の偏光方向に飛び出しやすい。そのため光電子の射出方向を正確に決めることができれば、X 線の偏光を効率よく測定できる。光電子の飛跡を撮像するために、我々は X 線のターゲットガスを詰めた Time Projection Chamber (TPC) を用いる。TPC では、光電子の飛跡に沿って生じる 2 次電子を、電場をかけて移動させて、1 次元のストリップ電極で読み出し、その位置と時間差で 2 次元イメージを得る。S/N 比を向上させるために、電子はストリップ電極に到達する前に、強電場のかかった電子増幅フォイル (GEM) の穴を通過することでなだれ増幅を起こし、飛跡の形を保ったまま、その数を千倍以上にする。

偏光を精度よく測るためには、装置による飛跡イメージの歪みを少なくする必要がある。しかし上記の通り、電子はガス内を複雑に移動・増幅するため、電子の拡散異方性により飛跡イメージに系統的な歪みが生じ、偽の偏光を生じる。実際に、無偏光の X 線を偏光計に照射して得た観測データには、未知の系統誤差が存在した。そこで我々は、電子が TPC 内をどのように拡散・増幅していくかを数値的に計算し、系統誤差を生む原因を調べた。

2. 具体的な利用内容、計算方法

ガス中の電子の拡散および増幅を精密に調べるためには、偏光計内部の正確な電場強度分布を計算する必要がある。そこで我々は RICC で利用できる有限要素法ソルバー ANSYS を使用し、偏光計の簡易的なジオメトリを構築して、電場分布を計算した。

次に電子の輸送および増幅を模擬するために、電子とガスの相互作用をモンテカルロ法で計算して、電子の輸送をシミュレートできる、CERN が開発中のオープンソース Garfield++ を使った。Garfield++ には、ANSYS で計算した電場分布を入力した。

3. 結果

図 1 は ANSYS で計算した GEM 付近の電場である。GEM は絶縁体シートの両面を電極ではさみ穴を開け、電極間に高電圧をかけることで、穴の中に強い電場を発生させることができる。ANSYS により、穴の中の複雑な電場分布が計算できていることがわかる。

得られた電場分布を Garfield++ に入力し、電子を GEM の穴に入れて、強電場によるなだれ増幅および拡散を数値計算したものを図 2 に示す。それぞれの電子について、ストリップ電極で読み出した位置および時間を記録し分布をとり、電子拡散の異方性を評価した。その結果、位置方向の拡散が時間方向よりも大きいことがわかった。さらにその原因は、GEM と読み出しストリップの間の電場に依存することもわかった。これらのシミュレーション結果は、実測した飛跡イメージの歪みの傾向と一致する。現在、拡散の異方性を少なくするために、偏光計のデザインを改良しているところである。

4. まとめ

宇宙 X 線偏光計の系統誤差を調べるために、RICC で利用できる ANSYS、および CERN が開発している Garfield++ を用いて、ガス中の電子の拡散および増幅を数値計算した。その結果、GEM と読み出しストリップ間の電場に依存する拡散異方性を見つけた。現在、異方性を小さくするために、偏光計のデザインを改良している。

5. 今後の計画・展望

偏光計の改良後に、それを用いて偏光データを実測し、数値計算結果と比べることで、イメージの歪みを生む別の原因の可能性を調べて、可能な限り系統誤差を少なくする。

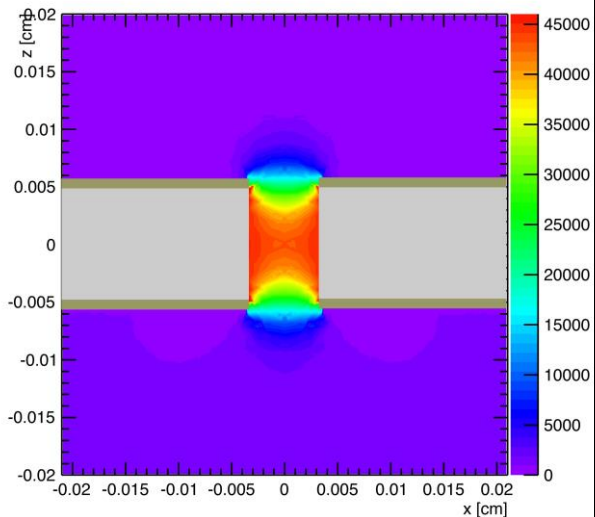


図 1. ANSYS で計算した GEM の穴の中の電場分布。カラーマップは電場強度 (V/cm) を表す。GEM の電極間には 460 V の電圧差をかけている。

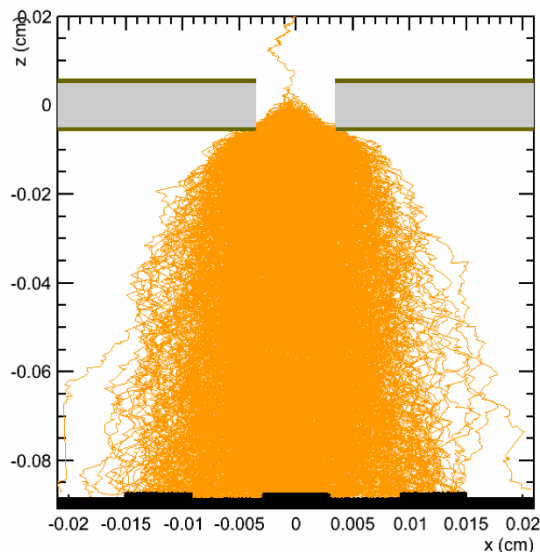


図 2. Garfield++ でシミュレートした、強電場のかかった GEM の穴で、増幅および拡散した電子の飛跡 (オレンジ色)。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

なし

【国際会議などの予稿集、proceeding】

なし

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. T. Kitaguchi et al, “Performance Evaluation of Micro-pattern Gas Polarimeter with Synchrotron X-ray Beamline”, 日本物理学会, 2013年9月22日
2. T. Enoto, K. Black, T. Kitaguchi, J. Hill, A. Hayato, H. Marlowe, K. Kaneko et al, “Performance of Micro-pattern Gas Polarimeter”, Suzaku-MAXI 2014, Feb 19-22, 2014, Ehime Univ.