

課題名 (タイトル) :

X線偏光計の電場シミュレータ

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

天体からのX線は、発見から 50 年以上経ち、各光子の位置・エネルギー・到達時間、そしてそれらの情報を蓄積して天体の画像・スペクトル・時間変動が精密に測定されてきた。しかし偏光は 1 天体のみからしか測定されていないため、X線天体物理学に残された未開拓のプローブである。我々は NASA/GSFC と協同で、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いる。将来はその偏光計を、飛翔体に搭載して、宇宙 X 線を観測する提案をしている。

X 線は物質と主に光電効果を通じて相互作用し、X線のエネルギーを光電子に移送する。光電子は、入射 X 線の電気ベクトルからの方位角を θ とすると、 $\cos^2 \theta$ に依存する微分断面積にしたがって原子から飛び出す。そのため光電子の射出方向を精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線のターゲットとしてジメチルエーテルガスを詰めた 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 1 次元のストリップ電極まで移動させ、その電極位置と読み出し時間差で 2 次元イメージを取る。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、検出器に由来する飛跡イメージの歪みを熟知し、それを減らす工夫をしなければならない。そこで我々は、前年度に RICC を用いて、検出器内の電場構造を数値計算で解き、その電場中を動く電子とガス分子との衝突をそれぞれ計算して、電子の複雑な移動および増幅をシミュレートした。その結果、GEM 電極

と読み出し電極の領域 (Transfer 領域) で、電子拡散の異方性があることがわかった。今年度はこの計算を発展させて、Transfer 領域での電場強度および領域の厚みに対して、電子拡散の異方性を調べ、偏光計のデザインを最適化することを目指した。

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ソフトウェア Garfield++ (<http://garfieldpp.web.cern.ch/>) 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

実際の偏光計の Transfer 領域の厚みである約 $800 \mu\text{m}$ を用いて、電子拡散を上記の数値計算から求めると、印加する電圧に対して、拡散の大きさが小さくなった。これは GEM の穴から出てくる電気力線が、Transfer 電場が強いほど細く収束するため、それに沿って移動する電子の拡散も小さくなるためである。さらに Transfer 領域の厚みを小さくすると、同じ Transfer 電場でも拡散の大きさが小さくなることがわかった。

これらの数値計算で得た知見から、Transfer 領域はできるだけ短くし、かつ電場強度を上げることで、電子拡散の大きさおよびその異方性を小さくすることを予測した。実際に、Transfer 領域の厚みを今までの $1/3$ に縮小した偏光計を新

しく製作し、シンクロトロン放射光施設に持ち込んで性能評価をしたところ、特に低エネルギー X 線に対して偏光感度が 1.4 倍も向上することを確かめた。

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、印加電圧や電極間の厚みを変えて、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、電極間の厚みを小さくし、かつ電場強度を強くすることで、電子拡散の異方性が小さくなることがわかった。数値計算から得た知見を基に、偏光計のデザインおよび回路パラメータを改良した。シンクロトロン放射光を照射した性能評価により、低エネルギー X 線に対する偏光検出感度が 1.4 倍も向上することを確かめた。

平成 26 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. 北口貴雄, 玉川徹, 早藤麻美, 榎戸輝揚, 岩切渉, 吉川瑛文, 金子健太, 武内陽子, 窪田恵, 西田和樹, 「X 線の直線偏光・分光・到達時間を測定できるマイクロパターンガス検出器の開発」, 日本物理学会、19aSH-4、2014年9月、佐賀

【その他】

国際会議でのポスター発表

1. T. Kitaguchi, T. Tamagawa, A. Hayato, T. Enoto, A. Yoshikawa, K. Kaneko, Y. Takeuchi, K. Black, J. Hill, K. Jahoda, J. Krizmanic, S. Sturmer, S. Griffiths, P. Kaaret, H. Marlowe, “Monte-Carlo estimation of the inflight performance of the GEMS satellite X-ray polarimeter”, SPIE, 2014年6月, カナダ・モントリオール
2. T. Enoto, K. Black, T. Kitaguchi, A. Hayato, J. E. Hill, K. Jahoda, T. Tamagawa, K. Kanako, Y. Takeuchi, A. Yoshikawa, H. Marlowe, S. Griffiths, P. Kaaret, D. Kenward, S. Khalid, “Performance Verification of the Gravity and Extreme Magnetism Small explorer (GEMS) X-ray Polarimeter”, SPIE, 2014年6月, カナダ・モントリオール