

論文審査の結果の要旨

氏名 寺田 幸功

本論文は、強い磁場を持つ白色矮星 (Magnetized White Dwarf; MWD) 上に形成されるプラズマからの X 線放射を理解するうえで共鳴散乱が重要な役割を果たしていることを初めて指摘し、それを X 線天文衛星による観測と計算機シミュレーションにより検証したものである。

X 線衛星「あすか」は、MWD と主系列星との連星系 (polar と呼ばれる) のいくつかから、非常に強力な高電離 Fe の K α 線を検出した。等価幅で 4000 eV にも達するほどに強い Fe K α 線である。これが光学的に薄いプラズマからの熱放射であると仮定すると、Fe 元素の存在比が、太陽組成の 3 倍にも達することになる。一方、polar での典型的な重元素比は太陽での値の 0.5-1 倍程度である。したがって、この 3 倍という値は、非現実的に高い値である。

この強力な Fe 輝線の源を考えるために、本論文では、X 線の放射過程を詳しく検討した。MWD に物質が降着すると、白色矮星の表面付近で衝撃波が形成され、数十 keV 程度のプラズマで満たされた降着円筒が作られると考えられている。このプラズマが、熱的な電子の制動放射による連続波と、Fe などのイオンからの輝線の源であると考えられている。このプラズマが、光学的に薄ければ、そこから放射される X 線の解釈は容易になる。しかしながら、典型的な降着円筒内のプラズマは、連続波に対しては光学的に薄いですが、輝線に作用する共鳴散乱に対しては光学的に厚い。このため輝線に対しては複雑な輻射の輸送が効く可能性がある。

本論文では、強力な Fe 輝線をもつ MWD が全て降着円筒の真上から観測される幾何学的な配置を持つ点に注目し、「光学的に厚い輝線に対しては、ある機構で降着円筒真上方向の強度が強調され、見掛け等価幅が大きく観測される」という仮説を立てた。このように輝線のみ働く機構として、共鳴散乱に着目し、次の二つの効果が生じる可能性を新しく提案した。

その一つは、幾何学的な効果で、光学的に厚い共鳴線では円筒の表面付近しか観測されないため、円筒がコインのように平坦な形状をもつと、真上から見たとき、輝線が強くなると期待される効果である。

もう一つの効果はドップラーシフトをもたらす速度勾配の方向には共鳴散乱の断面積が小さくなるという物理的な効果である。降着円筒は上下方向に強い速度勾配があるため、共鳴光子が上下方向に進むと、ドップラー効果により共鳴条件から外れ、逃げやすくなるはずである。

このアイデアを検証するため、本論文では、降着円筒における共鳴光子の伝播をモンテカルロシミュレーションを用いて計算した。その結果、He-like Fe の K α 共鳴線の強度は、円筒の真上の方向では、角度平均した値に対し 2-3 倍まで増加することがわかった。H-like Fe の K α 線に対しても同様の結果が得られている。したがって、polar の一部で見られた非常に強い Fe K α 線は、異常に高い Fe の存在比を仮定しなくても、これらの物理機構を考えることにより、説明することができる。

この共鳴線の異方性を観測的に検証するために、「あすか」、RXTE、BeppoSAX 衛星を用いて、polar の X 線分光観測を行った。polar は、その自転周期に応じて降着円筒を見込む角度が変化するため、本論で提案しているモデルによれば、Fe 輝線の等価幅が自転周期に応じて変動するはずである。観測の結果、V834 Centauri および AM Herculis という二つの polar において、Fe の K α 輝線の等価幅が自転周期に応じて変動し、降着円筒を上から観測するフェーズで有意に強くなっている事が分かった。さらに、「あすか」と BeppoSAX 衛星で 9 つの polar を観測したところ、個々の結果は統計的に有意でないものの、9 天体の全体として 90% の有意度で、He-like Fe の K α 輝線の等価幅が、降着円筒を上から覗く場合に 1.8 ± 0.7 倍強くなっている結果を得た。これにより、共鳴線の異方性という考えが検証された。

さらに、本論文では、共鳴線の異方性を利用して、polar の降着円筒のプラズマ物理量や形状を一意に決定する新しい手法も提案している。さらに、S、Si など Fe よりも軽い元素に対しても、同じ効果が (Fe より少ないものの) 見られることも予言している。これらは、次世代の X 線衛星の観測において、有効なプラズマ診断方法となるはずである。

なお、本論文の研究は、牧島一夫、石田学、藤本龍一、松崎恵一、金田英宏との共同で行なわれている。ただし、観測の提案、結果の解析およびそのモデル化/検証を全て論文提出者が主体となっただけのものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断できる。

本論文は、このように X 線領域での共鳴散乱の効果を観測的に示した最初の例であると同時に、白色矮星の上でのプラズマからの X 線放射に対して新しい知見を与えたものであり、博士(理学)の学位を授与できると認める。