

光渦を用いたレーザー誘起蛍光法

吉村信次¹、寺坂健一郎²、荒巻光利³

¹核融合研、²九大総理工、³日大生産工

イオンや中性粒子の流れは弱電離プラズマを特徴付ける重要なパラメータであり、狭帯域波長可変レーザーを用いたレーザー誘起蛍光 (LIF) 法は、イオン・中性粒子の速度分布関数を直接計測できる強力なツールとなっている。一方、LIF法はドップラー効果による原子の共鳴吸収波長のシフトに基づいているため、原理的にレーザーの光路に射影した速度成分しか観測できない。我々は光渦を用いることで、この制限を取り除くことを目的として研究を行っている。

光渦は、方位角方向の位相勾配のためヘリカル状の等位相面をもつ。結果として、光軸上は強度ゼロの位相特異点となり、強度分布はドーナツ状となる。実験室では、レーザーの基本モードであるエルミートガウスモードを様々な方法で変換することでラグールガウスモードとして光渦を生成可能である。ヘリカル状の等位相面のため、光渦ビーム中を運動する原子は、通常の縦方向ドップラーシフトに加えて、方位角方向のドップラーシフトを感じるようになる[1]。

$$\delta_{LG} = -kV_z - \left(\frac{l}{r}\right)V_\phi \quad (1)$$

ここで、 k はレーザーの波数、 V_z 、 V_ϕ は原子の z 方向、 ϕ 方向の速度、 r は特異点からの距離、 l はトポロジカルチャージである。右辺第二項で表される方位角方向ドップラーシフトを用いることで、レーザーの光路に垂直な運動に対して感度をもつLIF法が期待される。ドップラーシフトの大きさがビーム断面内での位置に依存するため、光渦をレーザー誘起蛍光法のポンプ光として用いる場合には、ビーム径の制御が重要になる。

本講演では、ビーム断面内の微小領域からの寄与を数値的に積分することで得られる光渦LIFスペクトルの形状の流速およびビーム径依存性について報告する。LIFの強度は、その点におけるビーム強度と共鳴吸収の確率密度の積に比例すると仮定した。結果として、高速流、高トポロジカルチャージでビーム径が小さい場合に、スペクトル形状が大きく変形することがわかった。この変形を定量的に評価するために、スペクトルの二次のモーメントに対応する標準偏差を用いた。今回設定したパラメータ領域では、標準偏差がレーザー光を横切る流速を評価するための指標として利用できる。ただし、この変形はイオン温度によるドップラー広がりとの競合によって決まるため、イオン温度が高いプラズマへの適用は難しい。今回、従来のLIF法の光源を平面波的なエルミートガウスビームから光渦であるラグールガウスビームに置き換えた場合の結果を示した。光渦のもつ可能性を十分活用するには、従来と異なる新しい計測法の考案が期待される。

[1] L. Allen et al., Opt. Commun. 112, 141 (1994).