

光渦レーザー吸収分光法による速度分布測定への回折の影響

日大生産工(院) ○皆川 裕貴 高知工科大 小林 弘和 核融合研 吉村 信次
 九大総理工 寺坂 健一郎 核融合研 森崎 友宏 日大生産工 荒巻 光利

1. 序論

光渦とは、ラゲール・ガウシアンモード (LGモード) と呼ばれる伝播モードの中心に生じる螺旋状の等位相面をもつ光波である。螺旋状の等位相面を有するために、光渦は中心に位相が打ち消し合う位相特異点を持つ。レーザー吸収分光法 (LAS) は、プローブビームの伝播方向と垂直な方向に運動する粒子の速度成分を測定することができないという測定方向上の制限がある。そこで、我々は、螺旋状の等位相面を有する光渦をプローブビームとして応用することで、LASの測定方向上の制限を克服し、速度成分に対して3次元的な感度を持つ光渦レーザー吸収分光法 (OVLAS) を開発している。OVLASで用いている光渦は螺旋状の等位相面を有するために、光渦の伝播方向を横切る方向に進む粒子はローカルな位相勾配によるドップラーシフトを受けるために、ビーム断面上では局所的に異なるドップラーシフトの分布が生じる。これに伴い、あるレーザーの周波数におけるビームプロファイル上には吸収率の分布が生じ、基本モードとは異なる歪んだ構造が生じる。このような構造は回折伝播の影響で変化していくため、観測面において正確な強度分布が得られず、吸収スペクトルを変化させ、OVLASによる速度分布測定に影響を及ぼす可能性がある。また、従来の実験では理論的な計算結果と異なり、吸収スペクトルをもとに算出されるドップラーシフトの二次元分布が空間的に回転したものが得られており、これは前述した回折伝播によって、LGモードが固有に持つ伝播距離に対応した位相シフトであるGouy位相シフトが生じたことに由来している可能性がある。本講演では、伝播に伴って変化する吸収後の光渦の構造を角スペクトル法によって数値計算し、OVLASによる速度分布測定への回折の影響について報告する。

2. 光渦レーザー吸収分光法 (OVLAS)

LASは測定対象の吸収の励起準位に相当する共鳴吸収周波数のレーザーを入射させ、周波数掃引することでレーザーの伝播方向に射影された速度分布を吸収スペクトルとして得る分光法である。LASでは、ビームとして用いられる平面波の等位相面を横切る粒子に生じるドップラーシフトを利用しているので、伝播方向と垂直な方向に流れる粒子の速度成分に対して感度を持たないという測定方向上の強い制約がある。

光渦中を運動する粒子が3次元的なドップラーシフトを受けることが報告されており[1], LASのプローブビームとして光渦を用いた場合、螺旋状の等位相面によって、Eq.1のように方位角方向にもドップラーシフトが生じる。

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

ここで、 k は波数、 V_z 、 V_ϕ は粒子の速度、 ℓ は光渦における方位角方向の位相の量子数を表すトポロジカルチャージ、 r は位相特異点からの距離である。右辺第2項が方位角方向のドップラーシフトを与える。Eq.1から分かるように、光渦上に生じるドップラーシフトは局所的に異なるものとなり、ある周波数のレーザーのビームプロファイル上には局所的な吸収率の分布が生じる (Fig.1)。このような吸収率分布は強度分布に基本モードとは異なる構造を生成する。光波の基本モードとは異なる構造は回折伝播の影響で構造が変化するため、それに伴い吸収率分布が変化し、観測される吸収スペクトルが変化し、OVLASによる速度分布測定に望まない影響を及ぼすと考えられる。

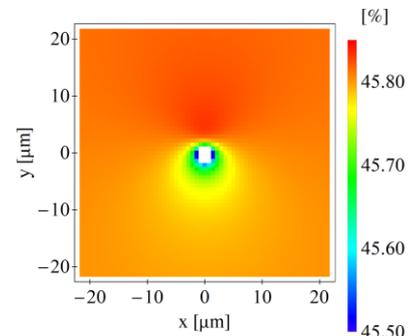


Fig.1. Absorption rate distribution.

3. 角スペクトル法

OVLASにおける回折伝播の影響を評価するために、厳密な結果を得られる回折伝播計算手法の一つである角スペクトル法を用いる。Eq.2に定式化された角スペクトル法を示す[2]。

$$g(x, y, z) = \mathcal{F}^{-1} \left[\mathcal{F}[g(x, y, 0)] \cdot \exp \left[j \sqrt{\lambda^{-2} - f_x^2 - f_y^2} z \right] \right] \quad (2)$$

ここで、 $g(x, y, 0)$ 、 $g(x, y, z)$ はそれぞれ伝播前の複素振幅分布、伝播後の複素振幅分布、 λ は波長、

Effect of diffraction on velocity distribution measurement by optical vortex laser absorption spectroscopy

Hiroki MINAGAWA, Hirokazu KOBAYASHI, Shinji YOSHIMURA, Kenichiro TERASAKA, Tomohiro MORISAKI and Mitsutoshi ARAMAKI

