### 光渦ドップラー吸収分光における 横方向ドップラーシフトと吸収率の空間分布

荒卷光利<sup>1</sup>、山本将来<sup>1</sup>、吉村信次<sup>2</sup>、寺坂健一郎<sup>3</sup>、森崎友宏<sup>2</sup> <sup>1</sup>日大生產工、<sup>2</sup>核融合研、<sup>3</sup>九大総理工





- ・ プラズマに関連する様々な研究において、境界に垂直な粒子の流れは重要なパラメータである。
- ドップラー分光法は粒子の温度や流速を非破壊 で測定できる有効な測定手法である.しかし、波 の伝播方向にしかドップラー効果が働かないた め、垂直入射の測定では必然的に境界そのもの が障害になる.
- 本研究では、流れに対して垂直な方向から流れ 計測を可能にする、光渦ドップラー分光法を開発 することを目的としている。



$$\theta = 0$$
の場合  $\delta = \nu' - \nu \cong \frac{V}{c}\nu$  縦ドップラー効果  
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ の場合  $\delta = \nu' - \nu \cong -\left(\frac{V}{c}\right)^2 \nu$  横ドップラー効果

### なぜ縦ドップラー効果は縦方向にしか現れないのか?

縦ドップラー効果は、運動によって光源あるいは観測者が異なる等位相面へと移 動することによって引き起こされるので、



#### 平面波の場合 伝播に垂直な方向で位相が一 定なので運動による位相変化 はなく、横方向のドップラー効 果は観測されない。



球面波の場合 伝播に垂直な方向で位相が変 化するので運動により位相が変 化し、横方向のドップラー効果 が観測される。ただし、非常に 小さい。





ドップラーシフト  

$$\delta_{LG} \cong -kV_z - \begin{pmatrix} kr \\ V_r - \begin{pmatrix} l \\ r \end{pmatrix} V_{\phi}$$
  
伝播方向 径方向 方位角方向

L. Allen, et al., Opt. Comm. 112, 141 (1994) 5

# Laguerre-Gaussian Modes

 $u_{l,p}(r,\phi,z)exp[i(kz-\omega t)]$ 

$$= \sqrt{\frac{2p!}{\pi(p+|l|)!}} \left(\frac{\sqrt{2}r}{w(z)}\right)^{|l|} \cdot \frac{L^p_{|l|}}{w(z)^2} \cdot \frac{2r^2}{w(z)} \cdot \frac{w_0}{w(z)} exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right] \cdot \frac{exp[il\phi]}{azimuthal phase shift}$$

$$= exp\left[\frac{i(1+2m+|l|)}{w(z)} + \frac{i(1+2m+|l|)}{w(z)} + \frac{i(1+2m+|l|)}{w(z)}\right] \cdot exp\left[\frac{i(kr^2)}{w(z)} + \frac{kr^2}{w(z)}\right]$$

$$\cdot exp\left[-i(1+2p+|l|)tan^{-1}\left(\frac{z}{z_R}\right)\right] \cdot exp\left[-i\frac{\kappa r}{2R(z)}\right] \cdot exp[i(kz-\omega t)]$$

 $L_{|l|}^{p}: \text{Laguerre polynomials}$   $z_{R}: \text{Rayleigh range} \left(\equiv \pi w_{0}^{2}/\lambda\right)$   $w_{0}: \text{beam waist}$  l: topological charge  $R(z): \text{radius of curvature} \left(\equiv \left(z^{2} + z_{R}^{2}\right)/z\right)$ 





### **Measurement of Gas Flow**



Expected azimuthal Doppler shift and Lamb dip shift in 200 m/s flow is 28 MHz and 15 MHz at  $r = 10\lambda$ , respectively.















レーザーの波長を掃引しながら吸収画像をCCD カメラで記録し、各ピクセル毎の強度変化から吸 収スペクトルを得る。





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

The sign of the azimuthal Doppler shift of the OV beam flips with the change of the topological charge, and inversely proportional to r.

## 方位角ドップラーシフトの径方向分布



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

The sign of the azimuthal Doppler shift of the OV beam flips with the change of the topological charge, and inversely proportional to r.

まとめ

◆3次元的な位相構造を持つ光渦を用いることで、プローブレー ザーを横切る流れを測定できる。

- ◆観測されたドップラーシフトの分布は、トポロジカルチャージの符号に依存して反転するとともに、特異点からの距離と反比例の関係にあり定性的に理論と一致している。ただし、光の位相勾配から予想されるシフトよりも1桁近く大きい。
- ◆負の吸収率を示す領域がある等、現時点では解釈ができない現 象もあり、光渦と原子・分子の素過程について基礎的な理解をさらに進める必要がある。



# Thank you for your attention!





