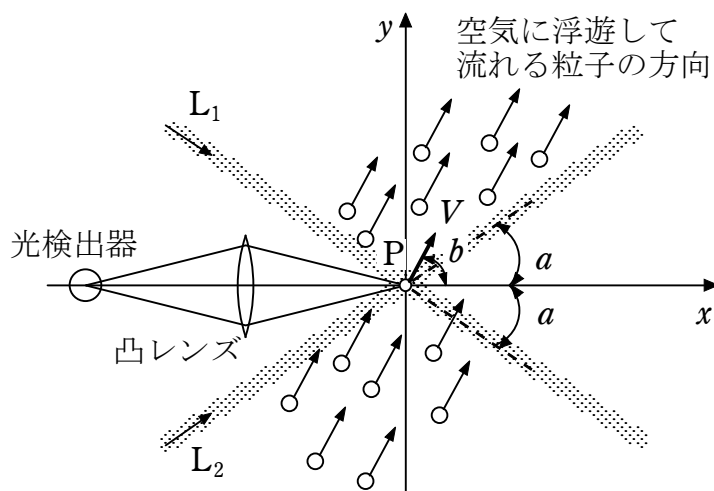


'03 立命館大学

空気中のごみやほこりが風で舞うのを見て私たちは空気の動きを知る。数 μm 程度の大きさの微粒子は空気の流れとほとんど同じ速度で運動していると考えてよいから、微粒子の速度を測定することで空気の流速を知ることができる。微粒子が浮遊している空気の流れにレーザー光を照射し、粒子で散乱する光から微粒子の速度を求める方法を考えてみよう。その原理は光波におけるドップラー効果に基づくもので、音波におけるドップラー効果と同様に考えることができる。次の ア ~ サ を適切な式で埋めよ。



図に示すように、 P を原点とする x - y 平面内で P を通るように可視レーザー光 L_1 を左上方から照射する。空気に浮遊して流れている多くの粒子のうち、1つの粒子が x - y 平面上を速さ $V[\text{m/s}]$ で P を通る場合を考える。 L_1 は x 軸と $a[\text{rad}]$ の角度をなし、また P を通る粒子の運動方向は x 軸と $b[\text{rad}]$ の角度をなす。ただし、 $0 < a < \frac{\pi}{2}$ および $0 < b < \pi$ とする。 x 軸上で P の左側に光検出器を設け、 P と光検出器の間に凸レンズを置いて P における粒子からの散乱光だけを光検出器に集光させる。

L_1 の波長を $\lambda[\text{m}]$ 、光速を $c[\text{m/s}]$ とすれば、 L_1 の振動数は ア [Hz] である。粒子は L_1 の進行方向に イ [m/s] の速度成分をもって波源から遠ざかる。

このとき、粒子は P における散乱により ウ [Hz] の振動数の光を発しながら光検出器に対して動く波源とみることができる。粒子は光検出器から遠ざかる方向に エ [m/s] の速度成分をもつから、光検出器で観測される光の振動数はドップラー効果により オ \times ウ [Hz] と表せる。可視レーザー光ではこの振動数は $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz 程度になるので光検出器は追従できず、このままでは振動数は測定できないため速度を求めることはできない。

'03 立命館大学

これを解決するために、図に示すようにもう1つの可視レーザー光 L_2 を x 軸に対して L_1 と進行方向が対称となるように照射する。 L_2 の波長は L_1 と同じである。 L_2 が P を通る粒子で散乱し光検出器に到達するとき、その振動数は上と同様に考えて $\square{\text{オ}} \times \square{\text{カ}} [\text{Hz}]$ と表すことができる。光検出器は L_1 と L_2 が粒子で散乱した光を同時に受けるから、それら2つの散乱光によってうなりを生じる。うなりの振動数を $f_y [\text{Hz}]$ とすれば、 $\frac{V}{c} \doteq 0$ であるから $\square{\text{オ}} \doteq 1$ として $f_y = \square{\text{キ}}$ となる。たとえば、速さ V を 5 m/s とすれば f_y は 10^7 Hz 程度となり、光検出器が追従できる振動数である。このようにして、測定された f_y から粒子の速度の y 成分 $V \sin b = \square{\text{ク}}$ と求めることができる。

次に V の x 成分を求めるために、 L_1 , L_2 , レンズおよび光検出器の互いの位置関係を保ったまま、それらを P を中心に右へ $\frac{\pi}{2} [\text{rad}]$ 回転させ、上と同様の測定を行う。光検出器で測定されたうなりの振動数を $f_x [\text{Hz}]$ とすれば、 $f_x = \square{\text{ケ}}$ で表される。したがって、 f_x から粒子の速度の x 成分 $V \cos b = \square{\text{コ}}$ と求めることができる。以上から、 $V = \square{\text{サ}}$ が得られる。