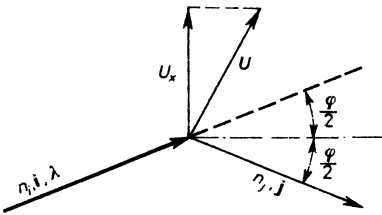


6.14. Dopplerowski anemometr laserowy

Najnowszą z metod pomiarowych zapoczątkowaną w latach sześćdziesiątych pracami Yeha i Cummingsa [316] jest dopplerowska anemometria laserowa, należąca do bezkontaktowych metod optycznych. Rozwinęła się ona dzięki wykorzystaniu techniki laserowej, umożliwiającej generowanie spójnej, monochromatycznej wiązki światła o wysokiej energii. Metoda ta opiera się na zjawisku Dopplera przesunięcia częstotliwości promieniowania świetlnego, rozpraszanego przez cząstki zawieszony w poruszającym się płynie. Dopplerowskie przesunięcie częstotliwości n_D związane jest z prędkością przepływu (rys. 6.46) za pomocą zależności liniowej:

$$n_D = \frac{1}{\lambda} \mathbf{U}(\mathbf{j} - \mathbf{i}) = \frac{2}{\lambda} U_x \sin \varphi = n_j - n_i, \quad (6.117)$$

w której n_i jest częstotliwością wiązki światła padającego, n_j – częstotliwością wiązki światła rozproszonego, \mathbf{i} – wersorem wiązki światła padającego, \mathbf{j} – wersorem wiązki światła rozproszonego, λ – długością fali światła padającego, a φ – kątem rozproszenia światła.



Rys. 6.46. Ilustracja efektu Dopplera

Znając wielkość λ , kierunki \mathbf{i} i \mathbf{j} oraz mierząc przy zastosowaniu techniki optycznego heterodynowania wartość częstotliwości dopplerowskiej n_D , otrzymujemy z równania (6.117) składową wektora prędkości leżącą w płaszczyźnie utworzonej przez wersory \mathbf{i} i prostopadłą do dwusiecznej kąta φ .

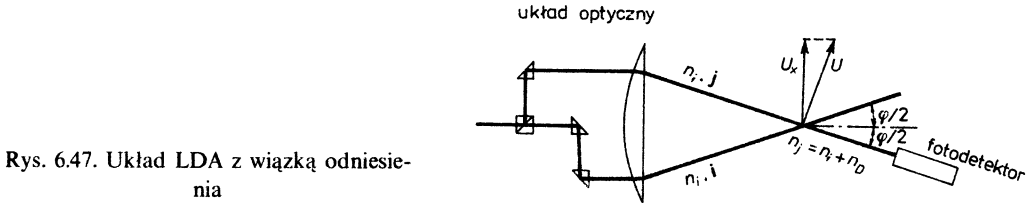
Podstawowymi elementami systemu LDA (Laser Doppler Anemometer) są:

- laser jako źródło monochromatycznego światła spójnego;
- układ optyczny, którego zadaniem jest skierowanie i zogniskowanie wiązek światła laserowego na obszarze pomiarowym;
- fotodetektor (przetwornik fotoelektryczny), który przetwarza informacje zawarte w świetle rozproszonym na sygnał elektryczny;
- układ elektroniczny analizujący i opracowujący sygnały dostarczone z fotodetektora.

Należy podkreślić, że zastosowanie anemometrii laserowej wymaga istnienia w badanym przepływie odpowiedniej koncentracji cząstek rozpraszających. Cząstki te mogą być naturalnymi składnikami płynu lub też muszą być do niego wprowadzane sztucznie jako tzw. posiew. W konsekwencji, zgodnie z zasadą działania systemu LDA, analizie podlega nie tyle ruch samego płynu, ile raczej zawieszonych

w nim cząstek. Stanowi to pewną wadę metody, wymaga bowiem założenia, że cząstki te odwzorowują w sposób idealny ruch samego płynu, co ogranicza od góry zakres możliwych do wykrycia częstotliwości turbulentnych fluktuacji przepływu.

System LDA realizowany być może w kilku różnych układach. Najprostszym i historycznie pierwszym jest układ z wiązką odniesienia (Reference Beam Mode), przedstawiony schematycznie na rys. 6.47. Światło laserowe zostaje rozszczerpione w



Rys. 6.47. Układ LDA z wiązką odniesienia

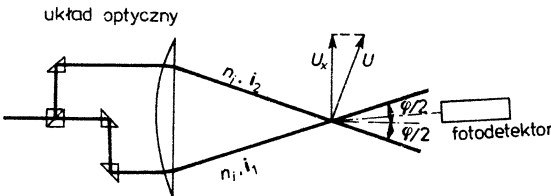
układzie optycznym na dwie wiązki: sygnałową (n_i, \mathbf{i}) i odniesienia (n_i, \mathbf{j}), które krzyżują się w obszarze zwanym objętością pomiarową.

Fotodetektor odbiera dwie wiązki światła:

- wiązkę odniesienia bez przesunięcia częstotliwości (jej intensywność regulowana być może w układzie optycznym dla optymalizacji efektu Dopplera),
- wiązkę rozproszoną o częstotliwości $n_j = n_i + n_D$.

Układ ten wymaga dużej koncentracji cząstek posiewu oraz wiązek światła o znacznej intensywności (duża moc lasera). Ograniczeniem dodatkowym jest konieczność bardzo dokładnego ustawienia fotodetektora w położeniu ściśle współosiowym z wiązką odniesienia.

Rozwiązanie wygodniejsze stanowi tzw. układ różnicowy (Differential Doppler Mode) przedstawiony na rys. 6.48 i wykorzystujący dwie wiązki sygnałowe: (n_i, \mathbf{i}_1)



Rys. 6.48. Różnicowy układ LDA

i (n_i, \mathbf{i}_2), o jednakowych intensywnościach. W układzie tym fotodetektor zbiera światło rozproszone pochodzące z obu wiązek sygnałowych, częstotliwość zaś dopplerowska wynosi tu

$$n_D = \frac{1}{\lambda} \mathbf{U} (\mathbf{i}_2 - \mathbf{i}_1). \quad (6.118)$$

Jest ona niezależna od kierunku detekcji światła rozproszonego, w związku z czym fotodetektor może być umieszczony teoretycznie w dowolnym miejscu. Pomiarowi

podlega tu składowa U_x równoległa do wektora $(i_2 - i_1)$, która (podobnie jak i w wariacie poprzednim) określana jest ze związku (6.117). Zaletą tego rozwiązania, poza dowolnością w lokalizacji fotodetektora, jest ponadto lepszy na ogół stosunek sygnału wyjściowego do szumu własnego układu.

Nie wdając się w dalszą analizę stosowanych systemów LDA, należy stwierdzić, że omawiana technika przedstawia szereg atrakcyjnych właściwości. Zaliczyć do nich można:

- małą objętość pomiarową (zbliżenie się do ideału pomiaru punktowego),
- liniową odpowiedź przetwornika,
- niewrażliwość na zmiany temperatury medium,
- brak konieczności wzorcowania przyrządu,
- bezkontaktowy sposób pomiaru nie deformujący pola prędkości obecnością czujnika,
- możliwość pomiaru w środowiskach agresywnych chemicznie lub w przepływach o wysokich temperaturach.

Na ograniczenie anemometrii laserowej składają się następujące czynniki:

- konieczność stosowania posiewu,
- trudności związane z instalacją odpowiednio sztywnych łąw optycznych umożliwiających jednoczesne przesuwanie lasera wraz z całym układem optycznym w trakcie trawersowania przestrzeni pomiarowej,
- konieczność instalowania w badanych obiektach okien ze szkła optycznego.

Metody anemometrii laserowej przy odpowiednich zestawach aparatury i stosowaniu różnobarwnych wiązek świetlnych pozwalają na analizę trójwymiarowych pól prędkości i na określenie wielu złożonych wielkości charakteryzujących turbulencję przepływu. Szczegółowe informacje dotyczące zastosowania i możliwości pomiarowych systemów LDA znaleźć można w specjalistycznej literaturze przedmiotu, która już w 1974 r. zgodnie z interesującym zestawieniem klasyfikacyjnym Dursta i Zare [67] obejmowała przeszło 600 pozycji.