

Differenciál lézer doppler anemometria

DR. ÁDÁM ANTAL, DONKÓ ZOLTÁN
Budapesti Műszaki Egyetem

ÖSSZEFOGLALÁS

A differenciál lézer doppler anemometria (DLDA) a koherens optikai elveken alapuló sebességmérési eljárások egyik fontos típusa. A cikk röviden tárgyalja a lézer doppler anemometriának a mérés technikában betöltött szerepét, majd egy modell alapján értelmezi a DLDA berendezések működési elvét. Ezután a modell-méréseknél szerzett tapasztalatokkal foglalkozik.

1. Bevezetés

Véleményünk szerint a műszaki mérés technika fejlődésében az érzékelők fejlesztése a közeljövőben kitüntetett szerepet fog játszani. Emiatt nem lehet figyelmen kívül hagyni azokat a lehetőségeket, amelyeket a koherens optika és a lézer technika kínál.

A koherens optika számos új mérés technikai eljárást fejlesztett ki (pl. holografikus interferometria, elektronikus szemcsekép interferometria, lézer doppler anemometria, stb.), de azok a lehetőségek, amelyeket nyújtani képes, még távolról sincsenek kihasználva.

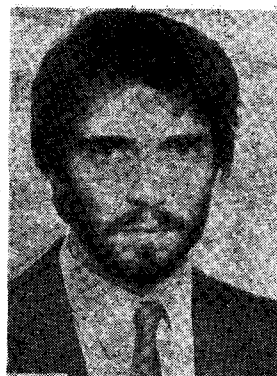
A BME Fizikai Intézetének Fizikai Tanszékén működő Koherens Optikai Laboratóriumban a fent példaként említett mérés technikai eljárások fejlesztésével és meghonosításával foglalkozunk.

A lézer doppler anemometria, mint említettük, koherens optikai jelenséget használ tükröző, diffrúzan szóró testek, illetve részecskék sebességének mérésére. A mérés során a mérendő objektumra gyakorolt mechanikai hatás még 10^{-6} m lineáris méretű testek esetén is elhanyagolható, így a lézer doppler anemometria (LDA) „érintésmentes” mérési módszernek tekinthető. Ezen az elven olyan mérőrendszerek építhetők ki, amelyek pl. áramlási terek sebességvektor-eloszlásának kimérésére is alkalmasak.

Bár több nyugati vállalat kínál eladásra ilyen anemométereket, a mérési módszer kutatásával, és eszközfejlesztéssel foglalkozik még napjainkban is aktuális. Így került sor az 1984/85. tanévben az anemometria TDK témaként történő indítására. Az elmúlt két év során az erről a témáról írt dolgozatok eredményesen szerepeltek a BME Villamosmérnöki Karának TDK konferenciáin [1] [2].

2. A mérés elve

Az 1. ábrán egy differenciál lézer doppler anemométer tipikus elvi optikai elrendezése látható. Az eszköz működési elvét egy igen szemléletes modell alapján fogjuk értelmezni, amely bizonyos, a valóságot jól közelítő egyszerűsítő feltevéseket tar-



DONKÓ ZOLTÁN

Egyetemi hallgató 1984-ben kezdte tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Műszer és Irányítástechnikai Szakán.

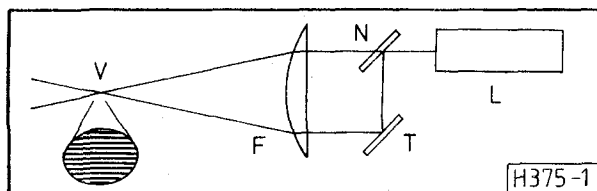
Az Egyetem Fizikai Intézetének Fizika Tanszéként két éve foglalkozik TDK tevékenységgel lézer doppler anemometria témakörben.

DR. ÁDÁM ANTAL

Egyetemi adjunktus 1971-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a BME-n. 1971–73 között multiplexer és BADAR berendezések részegységeinek fejlesztésével foglalkozott. 1973 óta a BME F. I. Fizika Tanszékén az oktatómunka mellett koherens optikai mérési módszerek kutatásával foglalkozik. Több berendezés kifejlesztésében és építésében vett részt (rubin lézer, HIM, adatgyűjtő, ESPI) 1979-ben doktori értekezést írt a holografikus interferogramok kiértékelésében.



lése témában. Eredményeket ért el a kiértékeléssel kapcsolatos előjel-helyes rendkalibráció kérdésében.



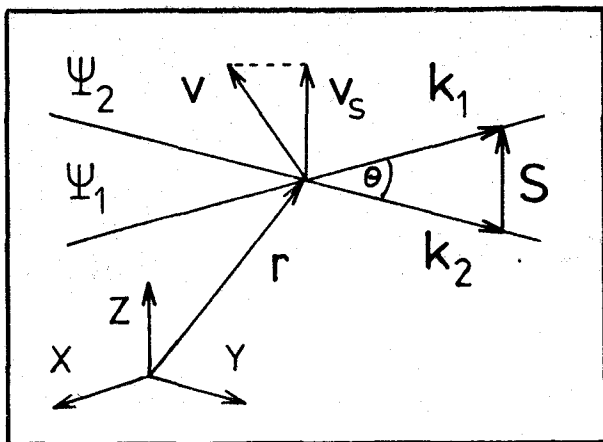
1. ábra. Egy differenciál lézer doppler anemométer elvi optikai elrendezése.

A lézer (L) fénye a nyalábosztón (N) kettéválik, majd egy tükör (T) segítségével két párhuzamos sugár kerül a fókuszáló lencsére (F). A mérőtér fogatát a két sugár közös hullámterét (V) alkotja.

talmaz. Egyrészt feltételezzük, hogy a lézer fénye tökéletesen monokromatikus, másrészt a megvilágító sugárnyalábokat a mérőtér fogatban síkhullámoknak tekintjük.

A modell alapja, hogy a két megvilágító sugár találkozásakor a közös hullámterben kialakult egy interferenciacsík-rendszer, amelynek minden pontjához meghatározott intenzitás tartozik. Ha ebben a térfogatban megjelenik egy szórórészecske, akkor annak felületéről szórt fény kerül a detektorra.

Beérkezett: 1987. X. 11. (H)



H375-2

2. ábra. A differenciál lézer doppler anemométerek működési elvének modellje

Legyen a két megvilágító sugár komplex időfüggvénye:

$$\psi_1 = A_1 \exp\{i(\omega t - k_1 r)\} \quad (1)$$

$$\psi_2 = A_2 \exp\{i(\omega t - k_2 r + \varphi_0)\} \quad (2)$$

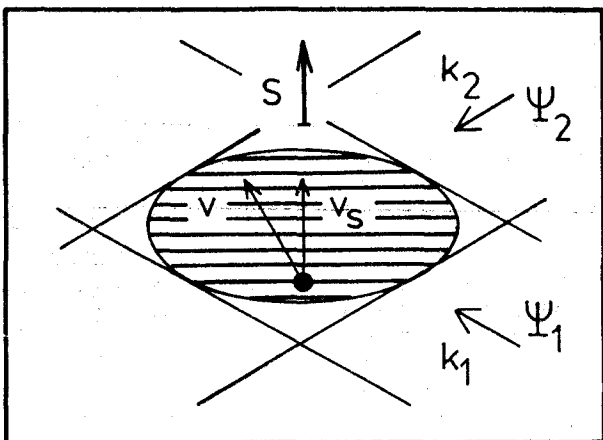
ahol A_1 és A_2 valós értékűek. A két sugár közös hullámterének r helyvektorú (2. ábra) pontjában az eredő komplex időfüggvény:

$$\psi_E = [A_1 \exp\{-ik_1 r\} + A_2 \exp\{-i(k_2 r - \varphi_0)\}] \times \exp\{i\omega t\} \quad (3)$$

Az intenzitás ebben a pontban a fenti kifejezés négyzetének időátlagával adható meg:

$$I_E(r) = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(Sr + \varphi_0) \quad (4)$$

ahol $S = k_1 - k_2$ az adott elrendezés érzékenységi vektora. A (4) kifejezés a térben periodikus intenzitáseloszlást ír le. A szórórészecske felületéről szóródó intenzitás arányos I_E -vel, ezért ha a részecske mozog, akkor a szórás helye állandóan változik, így a részecske által szórt intenzitás is. Tehát a tér bármely pontjában periodikusan



H375-3

3. ábra. A modell szemléletes jelentése. A megvilágító sugarak által létrehozott interferenciacsík-rendszeren áthaladva a részecske periodikusan változó intenzitású fényt szór.

változó intenzitású szórt fényt észlelhető. Az intenzitás változásának pillanatnyi körfrekvenciája a 3. ábrán is követhetően:

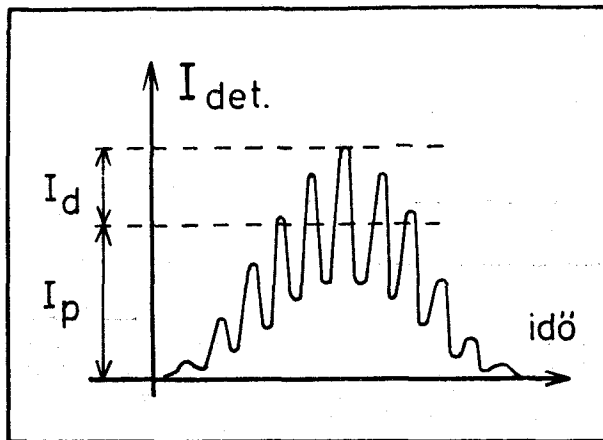
$$\Omega = Sv; \quad (5)$$

v a szórórészecske sebességvektora.

Ebből a részecske érzékenységi vektor irányú sebességkomponensének abszolút értéke a 2. ábra geometriai viszonyainak figyelembe vételével a

$$v_s = \lambda/2 \sin(\theta/2) \quad (6)$$

összefüggéssel adható meg, ahol λ a lézer hullámhossza, θ a megvilágító sugarak közötti szög, f pedig a fotodetektor fényintenzitással arányos kimenőjelének frekvenciája.



H375-4

4. ábra. A detektor kimenőjelenek tipikus időfüggvénye egy részecskének a mérőtérfogaton történő áthaladása esetén. A jel modulációs mélységén az I_d/I_p arányt értjük.

A mérőtérfogatbeli interferenciacsíkok láthatóságát, amint az (4)-ből látható az A_1/A_2 arány határozza meg. A gyakorlatban előnyös, ha a láthatóság maximális; ezt $A_1 = A_2$ választással lehet elérni, ekkor a láthatóság egységnyi.

A modellt a gyakorlati tapasztalatokhoz igazítva két szempontból kell kiegészíteni:

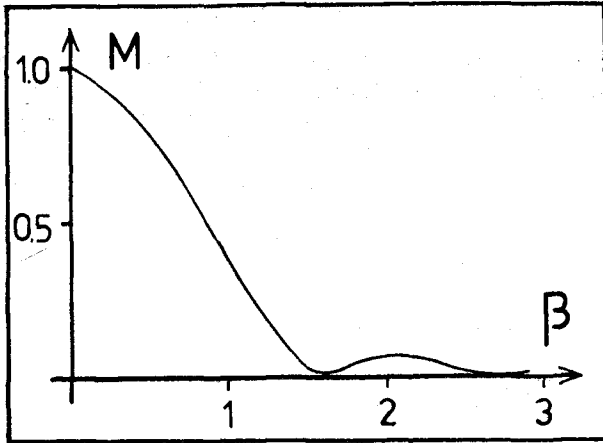
— a mérőtérfogatot az 1. ábrán vázolt módon egy lencsével összefókuszált két sugár közös hullámteret alkotja, mely sugarak külön-külön gaussi intenzitáseloszlásúak, így a mérőtérfogatban az intenzitásmaximumok értéke változik (a szélek felé csökken). Emiatt a részecskékről szóródó fény intenzitásának csúcserője nem állandó; (4. ábra).

— a részecskék véges kiterjedése miatt a detektor kimenőjelenek modulációs mélysége mindig kisebb, mint amit a mérőtérfogatban megjelenő interferenciacsíkok láthatósága lehetővé tenné. Az 5. ábra a detektált jel modulációs mélységét ábrázolja a részecskék átmérője és a mérőtérfogatban kialakult interferenciacsíkok távolságának arányaként előálló β paraméter függvényében.

* Az eddig tárgyalt szemléletes modell mellett, a mérési módszer elemzésére létezik egy másik modell is, amely a részecske által szórt hullámterek Doppler-effektus okozta frekvenciaeltolódásainak különbségeként írja le a sebességkomponenssel arányos frekvenciájú detektált jelet. Ez a modell az alapja a DLDA elnevezésnek.

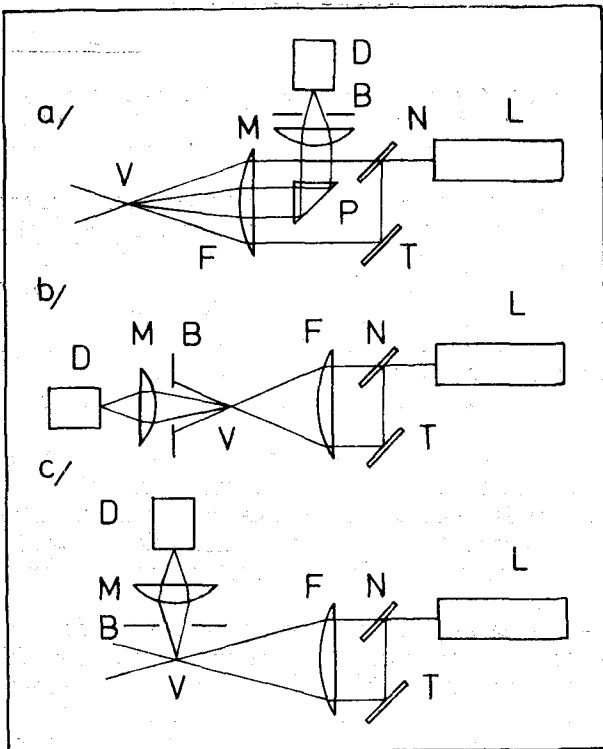
3. Gyakorlati elrendezések, kísérletek

A sebesség kiszámítására vonatkozó (6) képlet levezetésekor nem tettünk kikötést a detektor pozíciójára. Ez azt jelenti, hogy a detektor a tér bármely olyan pontjába kerülhet, ahová szórt fény jut. A cikkben tárgyalt differenciál lézer doppler anemométer típusok gyakorlati megvalósításainak elvi vázlatai a 6. ábrán láthatók. Mindhárom jellegzetes összeállítással végeztünk méréseket; elő-



H375-5

5. ábra. A detektor kimenőjelének modulációs mélysége a β paraméter függvényében. (Gömb alakú részecskék, és a fénycsőhosszhoz képest igen nagy detektor apertúra feltételezésével; [2] alapján.)

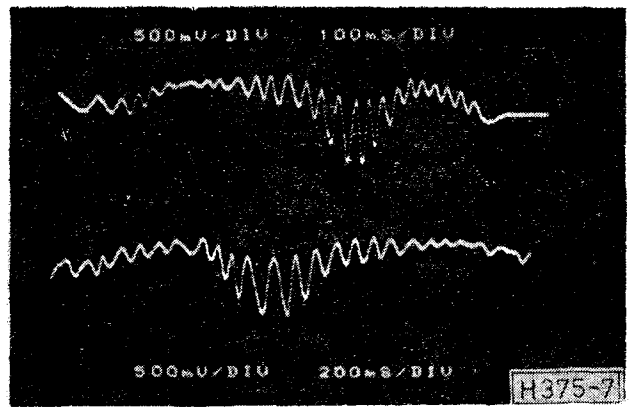


H375-6

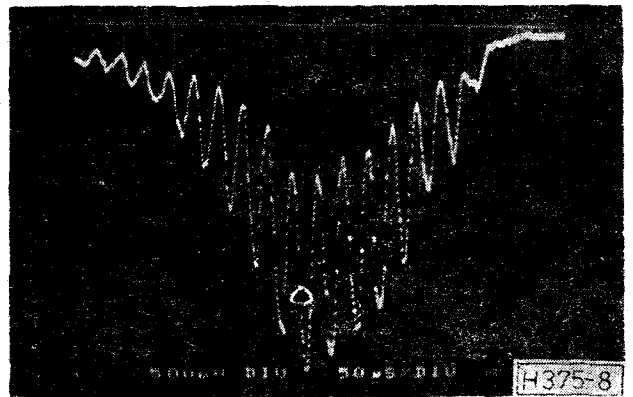
6. ábra. A kísérletek során alkalmazott differenciál lézer doppler anemométer típusok:

a) hátraszórásos, b) előrszórásos, c) oldalrszórásos összeállítás

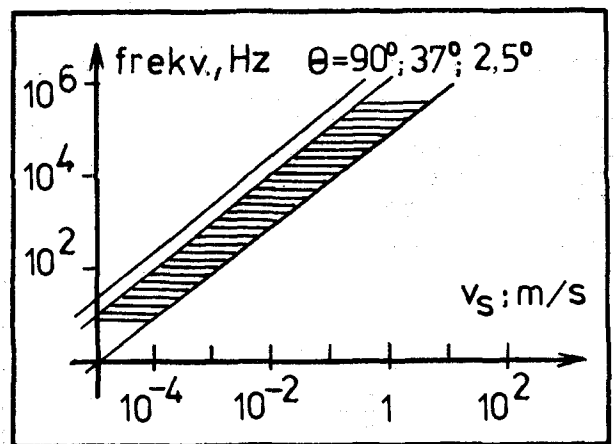
L: lézer, N: nyaláboosztó, T: tükör, F: fókuszáló lencse, B: blende, M: megfigyelő optika, D: detektor.



7. ábra. Diffúz felületű alumínium lemez transzlációs mozgásának vizsgálatokor kapott jelek; a test sebessége a mm/sec nagyságrendbe esett.



8. ábra. Folyadékban áramló festékrészecskéről kapott Doppler-jel (a méréseknél fotoelektronsokszorozót használtunk, ezért az intenzitás a fényképeken negatív irányban növekszik.)



H375-9

9. ábra. A detektált jel frekvenciája a sebesség és a megvilágító sugarak közötti szög függvényében. A vonalkázott terület azt a tartományt jelzi, ahol méréseket végeztünk.

szőr nagyméretű, szilárd felületű testek (diffúz üveg- illetve alumínium lemez) sebességét határoztuk meg; (7. ábra). Ezen kísérletek célja az volt, hogy az optikai módszer mellett a tárgy sebességét más módon is megmérve meggyőződhetünk az optikai mérés megbízhatóságáról, és így később elfogadhatunk olyan mérési eredményeket, amelyek már más módon nem ellenőrizhetők.

A további kísérletek során folyadékban lebegő szórórészecskék sebességét mértük, szintén a 6. ábrán vázolt elrendezésekkel, azzal a módosítással, hogy a tárgy helyére egy vízzel töltött küvetát tettünk, és abba különböző szórórészecskéket juttattunk. A kísérletek alapján az oldalrészecskés elrendezés (6. ábra, c) látszott legalkalmasabbnak, ugyanis itt a megfigyelő optika által kiválasztott térrész sokkal kisebb lehet a megvilágító sugarak közös hullámterénél. Ez azért előnyös, mert az alkalmazott szórórészecske-koncentráció mellett csak így lehetett biztosítani, hogy átlagosan ne tartózkodjon egy részecskénél több a megfigyelt térrészben. (Ez teszi lehetővé, hogy a 4. ábrán vázolt jelalakú jeleket kapjuk. (Ezzel az elrendezés típusal számos modellmérést végeztünk (pl. lamináris áramlás, hengersizmetrikus áramlási tér stb.). A 8. ábrán egy folyadékban lebegő szórórészecskéről kapott Doppler-jel látható.

Az általunk végzett kísérleteknél a mért sebességtartomány, amint az a 9. ábrán is látható, 0,1 mm/sec és 5 m/sec közé esett.

Az eddigi kísérleteket általános célú optikai eszközökkel végeztük. Emiatt sok esetben az elrendezések túlságosan bonyolultakká, vagy nagy méretűekké váltak, ami azok stabilitását rontotta. A mérési módszerrel kapcsolatban azonban sikerült olyan szintű tapasztalatokat gyűjteni, melyekre alapozva célműszer fejlesztésére vállalkozni lehet.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Donkó Z.—Walter G.: Lézer doppler anemometria, TDK dolgozat, BME. 1985.
- [2] Donkó Z.: Differenciál lézer doppler anemometria, TDK dolgozat, BME. 1986.