

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č. XVIII

Název: **Laserová dopplerovská anemometrie**

Pracoval: **Jan Polásek**

stud. skup. **11**

dne **2.4.2009**

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 Pracovní úkol

1. Proveďte kalibraci optické sondy anemometru. Použijte uspořádání navržené na obr. 4.6 – 5 v [1]. Parametry optické sondy získáte jednak měřením vzdálenosti interferenčních plošek v průsečíku laserových paprsků metodou projekce, jednak výpočtem z geometrie uspořádání. Oba výsledky porovnejte.
2. Připravte aparaturu k měření rychlosti částic. Zkontrolujte chod paprsků v detekční optice a vymezte prostorovou dírkovou clonu.
3. Na základě průběhu dopplerovských signálů optimalizujte dopplerovský signál na proudění vody v kyvetě.
4. Změřte frekvence dopplerovského signálu na souboru 60 – 80 částic. Převeďte hodnoty frekvence na hodnoty rychlostí. Graficky zpracujte rozložení rychlostí ve vodě formou histogramu. Histogram fitujte funkcí normálního rozdělení a z ní stanovte střední hodnotu rychlosti částic a standardní odchylku nalezeného rozdělení.
5. Diskutujte, jaký vliv na výsledek má to, že parametry optické sondy jsou měřeny ve vzduchu, zatímco měření rychlostí částic probíhá ve vodě.

2 Teoretická část

Laserová dopplerovská anemometrie je jednou z nejpřesnějších metod měření rychlostí. Nejčastěji se používá k měření proudění kapalin a plynu. Měření je založeno na Dopplerově principu, podle kterého elektromagnetické záření rozptýlené nebo odražené částicí v proudícím prostředí změní frekvenci v závislosti na rychlosti částice. Záření rozptýlené na pohybující - se částici je však závislé na směru pozorování, takže využití Dopplerova efektu není takto přímočaré.

Směrová závislost dopplerovské frekvence se odstraňuje v tzv. diferenciálním uspořádání. Využívá se k tomu dvojice protínajících se identických laserových paprsků, jejich průsečík vytváří optickou sondu anemometru, to znamená, že se rychlost měří jen v tomto průsečíku, kde vzniká 3-rozměrné interferenční pole se vzdáleností interferenčních plošek d_F . Z geometrie této situace (viz. [2], str. 189, obr. 4.6 - 3) se pro tuto vzdálenost dá jednoduše vyvodit vztah

$$d_F = \frac{\lambda_0}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

kde λ_0 je vlnová délka použitého laseru a θ je úhel svíraný paprsky. Při průletu částice tímto interferenčním polem bude mít rozptýlené světlo frekvenci

$$\Delta\nu_D = \frac{v_x}{d_F} = v_x \frac{2 \sin \frac{\theta}{2}}{\lambda_0} \quad (2)$$

kde v_x je složka rychlosti částice kolmá na interferenční roviny.

Pozn: Ke stejnému vztahu se dá také dojít pomocí interpretace interference dopplerovských frekvencí, více viz [2], str. 188 - 189)

3 Výsledky měření

Ze všeho nejdříve bylo třeba zkalibrovat optickou sondu. Pro kalibraci sondy z geometrie uspořádání jsem sestavil aparaturu podle obrázku v [1], str. 192, obr. 4.6-5. Pro snadnější měření jsem si na stínítku vyznačil interferenční proužky a poté jsem s pomocí mikrometru změřil relativní polohu levého okraje d_1 a pravého okraje d_2 intervalu obsahujícího N proužků. Vzdálenost interferenčních proužků jsem pak vypočítal podle vztahu

$$d_f = \frac{\Delta d}{N}, \quad \text{kde } \Delta d = d_2 - d_1$$

Výsledky tohoto měření jsou zaneseny v tabulce 1. Střední hodnota výsledků tohoto měření je

$$d_f = (30,0 \pm 0,5) \mu\text{m}$$

Pro kalibraci sondy z geometrie uspořádání byla aparatura upravena podle [2], str. 193, obr. 4.6-6. Na stínítku umístěného ve vzdálenosti l od průsečíku paprsků byla změřena vzdálenost jejich stop. Úhel θ , který svírají oba paprsky, byl určen ze vztahu

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{d}{2l} \right)$$

Vzdálenost interferenčních rovin pak byla vypočítána podle vztahu (1). Výsledky tohoto měření jsou zaneseny v tabulce 2. Střední hodnota výsledků tohoto měření je

$$d_f = (30 \pm 2) \mu\text{m}$$

Za vzdálenost interferenčních rovin budu považovat střední hodnotu těchto výsledků:

$$d_f = (30 \pm 1) \mu\text{m}$$

Poté již bylo možné přistoupit k vlastnímu měření. Hodnoty z fotonásobiče byly převáděny do digitálního paměťového osciloskopu (schéma viz. [2], str. 195, obr. 4.6-7) a zpracovávány programem ANEMOMETRIE (popis viz. [1]). Snímací frekvence osciloskopu byla $\tau = 30,02 \mu\text{s}$. Typický puls odpovídající jedné částici je znázorněn v grafu 1. Zaznamenána byla vždy časová šířka pulsu l a počet peaků v intervalu odpovídajícímu šířce pulsu N . Výsledky měření 75 částic jsou vyneseny v tabulce 3. Rychlost částic byla vypočítána pomocí vztahu (2). V grafu 2 je zobrazen histogram rychlostí částic. Šířka intervalu byla zvolena na $\delta v = 0,02 \text{ ms}^{-1}$. Histogram je proložen křivkou normálního rozdělení (popsaného např. v [3]). Pro střední hodnotu σ a standardní odchylku μ vyšly hodnoty

$$\begin{aligned}\sigma &= (3,06 \pm 0,04) \\ \mu &= (0,80 \pm 0,08)\end{aligned}$$

Střední hodnota rychlosti pohybujících - se částic je tedy

$$v = (3,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$$

4 Diskuse

Fakt, že kalibrace byla provedena ve vzduchu zatímco měření ve vodě, nemá na měření vliv, jelikož změny veličin ve vztahu (2) se vzájemně vyruší. Pro obě metody kalibrace vyšla stejná vzdálenost interferenčních rovin. Kalibrace z geometrického uspořádání byla méně přesná, jelikož určení vzdálenosti stop svazků na stínítku bylo obtížné a nepřesné.

Jak je vidět v grafu 2, hodnoty připomínají normální rozdělení jen částečně. Pro přesnější výsledky by bylo třeba změřit větší počet částic

5 Závěr

- Provedl jsem kalibraci optické sondy anemometru. Vzdálenost interferenčních rovin určená metodou projekce byla

$$d_f = (30,0 \pm 0,5) \mu\text{m}$$

Vzdálenost interferenčních rovin určená z geometrického uspořádání byla

$$d_f = (30 \pm 2) \mu\text{m}$$

- Připravil jsem aparaturu pro měření dopplerovského signálu částic a změřil jsem jej pro 75 z nich. Výsledky jsou zaneseny do tabulky 3, histogram rychlostí částic je znázorněn v grafu 2. Určil jsem střední hodnotu rychlosti částic

$$v = (3,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$$

6 Literatura

- [1] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>, studijní text a pokyny k měření k úloze 17
[2] I. Pelant a kolektiv, Fyzikální praktikum III. optika, MATFYZPRESS 2005
[3] J. Englich, Zpracování výsledků fyzikálních měření, web, Praha, 2000

Tabulka 1: Kalibrace metodou projekce

N	d_1 [mm]	d_2 [mm]	Δd [mm]	d_f [μm]
15	0,84	1,28	0,44	29
15	0,83	1,29	0,46	31
10	0,9	1,2	0,30	30

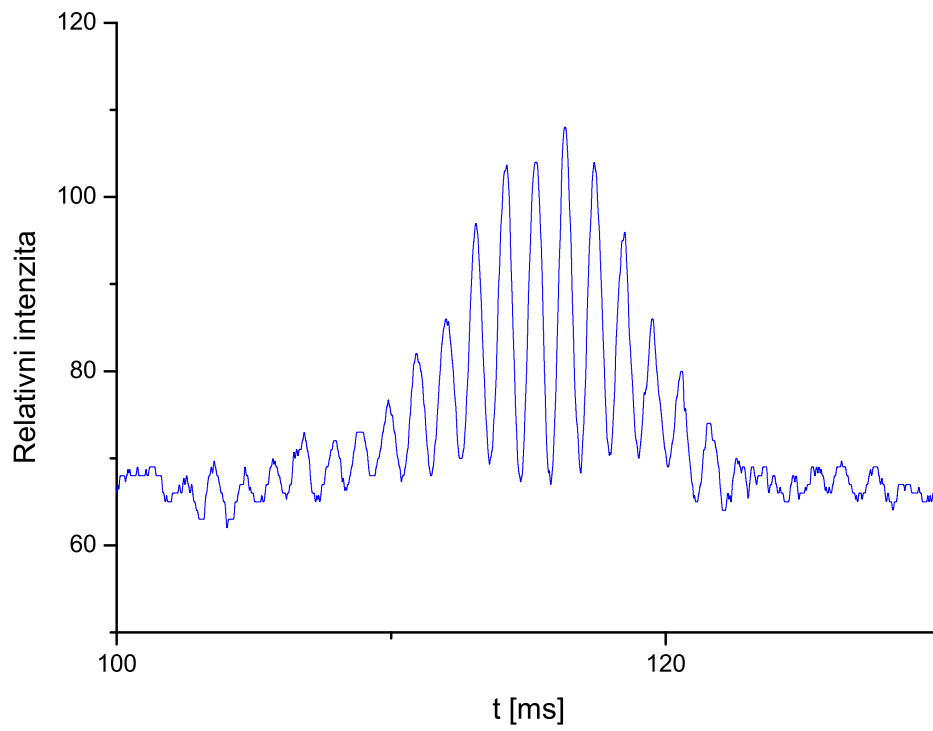
Tabulka 2: Kalibrace z geometrického uspořádání

l [mm]	d [mm]	ϕ [rad]	d_f [μm]
209	4	0,0191	33
178	4	0,0225	28
92	2	0,0217	29

Tabulka 3: Měření rychlostí částic

Č. částice	N	l [ms]	v [ms^{-1}]	Č. částice	N	l [ms]	v [ms^{-1}]
1	12	11,11	0,028	39	11	12,01	0,033
2	11	9,50	0,026	40	9	7,60	0,025
3	11	11,19	0,031	41	11	9,86	0,027
4	10	9,27	0,028	42	9	9,21	0,031
5	9	8,35	0,028	43	9	7,05	0,024
6	12	12,80	0,032	44	9	10,11	0,034
7	9	9,45	0,032	45	15	17,52	0,035
8	11	10,73	0,029	46	10	8,74	0,026
9	11	10,86	0,030	47	9	12,78	0,043
10	10	10,89	0,033	48	9	8,30	0,028
11	10	9,74	0,029	49	9	9,23	0,031
12	10	9,32	0,028	50	9	11,57	0,039
13	6	7,51	0,038	51	6	6,32	0,032
14	11	11,96	0,033	52	9	12,98	0,043
15	8	8,32	0,031	53	8	10,56	0,040
16	11	14,57	0,040	54	9	11,45	0,038
17	10	10,93	0,033	55	9	12,98	0,043
18	11	11,69	0,032	56	9	11,04	0,037
19	9	12,50	0,042	57	10	16,19	0,049
20	9	9,53	0,032	58	9	10,89	0,036
21	10	11,75	0,035	59	9	9,28	0,031
22	8	8,47	0,032	60	9	8,25	0,028
23	9	8,51	0,028	61	9	10,33	0,034
24	10	9,35	0,028	62	9	8,88	0,030
25	10	12,21	0,037	63	7	6,89	0,030
26	7	6,52	0,028	64	11	10,12	0,028
27	8	10,05	0,038	65	10	14,70	0,044
28	9	8,70	0,029	66	8	6,25	0,023
29	6	6,48	0,032	67	7	7,07	0,030
30	12	13,62	0,034	68	7	5,80	0,025
31	9	9,47	0,032	69	10	11,06	0,033
32	9	11,36	0,038	70	9	9,43	0,031
33	8	7,67	0,029	71	8	7,70	0,029
34	8	8,45	0,032	72	8	8,21	0,031
35	9	8,92	0,030	73	10	9,85	0,030
36	9	10,02	0,033	74	10	12,57	0,038
37	9	8,54	0,028	75	7	12,47	0,053
38	9	10,16	0,034	—	—	—	—

Graf 1: Dopplerovský puls



Graf 2: Histogram rychlostí částic

