

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM ...

Úloha č.

Název:

Pracoval: stud. skup. dne

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

Pracovní úkoly

1. Proveďte kalibraci „optické sondy anemometru“. Použijte uspořádání navržené na obr. 4.6 - 5 v [2]. 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 vymeďte 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. Převed'te hodnoty frekvence na hodnoty rychlosti. Graficky zpracujte rozložení rychlostí ve vodě formou histogramu. Histogram fitujte funkcí normálního rozdělení a z ní stanovte střední hodnotu rychlostí 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.

1 Teoretická část

1.1 Dopplerovská anemometrie

Měření je založeno na Dopplerově principu, podle kterého elektromagnetické záření rozptýlené nebo odražené částicí v proudícím prostředí změní frekvenci v závislosti na rychlosti částice, tzv. dopplerovská frekvence nebo dopplerovský frekvenční posuv [1].

1.1.1 Diferenciální uspořádání

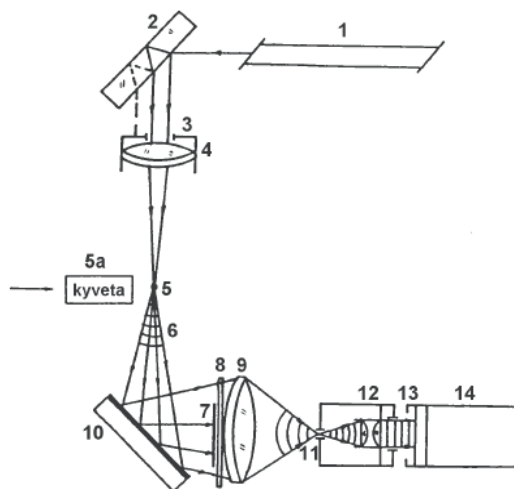
K vyloučení závislosti dopplerovské frekvence na směru pozorování se používá diferenciálního uspořádání. Dvojice protínajících se identických paprsků vytváří ve svém průsečíku tzv. optickou sondu anemometru, rychlost se měří pouze v této oblasti. Paprsky získáváme např. odrazem na planoparalelní desce (2 na obr. 1) a následnou fokusací vznikne potřebná sonda (5 na obr. 1). Ta v místě vytváří interferenční pole o vzdálenosti interferenčních plošek

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

kde ϑ je úhel mezi svazky a λ_0 vlnová délka jejich světla (použitého laseru 1 obr. 1). Při průletu částice tímto interferenčním polem bude mít rozptýlené světlo frekvenci

$$\Delta\nu_D = \frac{v_x}{d_F}, \quad (2)$$

přičemž v_x je rychlost prolétající částice v x -ovém směru. Více viz. [1].



Obrázek 1: Schéma dopplerovského anemometru.

1.2 Anemometr a kalibrace sondy

Použitý anemometr je znázorněn na obr. 1. Svazek He-Ne laseru 1 je rozdělen na planparalelní desce 2. Vzniklé paprsky jsou částečně odstíněny irisovou clonou 3, aby pouze 2 vstupovaly do vysílacího objektivu 4, za kterým vytváří místo optické sondy. Detekční objektiv 9 přijímá pouze kužel rozptýleného světla 6, protože paprsky odstiňuje kruhové stínítko 7. Červený filtr 8 slouží k oddělení jiných složek světla z laboratoře. Dírková clona 11 a výstupní irisová clona 13 zajišťují, aby na fotokatodu fotonásobiče 14 dopadal jen kuželovitý svazek z místa sondy 5. Kondenzor 12 vytváří přibližně rovnoběžný svazek.

1.2.1 Kalibrace metodou projekce

Svazky mezi částmi 4 a 5 odkloníme pomocí zrcátka a projikujeme na stínítko. Při správném naaranžování lze na stínítku pozorovat proužky interferenčního pole 5. Umístěním mikrometrického šroubu do místa průsečíku svazků změříme vzdálenost daného počtu proužků (vidíme stín na stínítku). Přímou tak zjistíme vzdálenost d_F proužků.

1.2.2 Kalibrace z geometrie uspořádání

Vzdálenost interferenčních plošek v tomto případě počítáme z (1). Úhel ϑ určíme ze vzdálenosti l stínítka od průsečíku 5 a h stop svazků (bez projekce prostoru sondy)

$$\vartheta = 2 \arctan \frac{h}{2l}. \quad (3)$$

1.3 Záznam a vyhodnocení

K zaznamenávání dat slouží digitální paměťový osciloskop s výstupem zpracovávaným programem *Anemometrie*. Osciloskop pracuje ve dvou různých režimech. Opakovací režim používáme k nastavení optimálního světelného signálu. Ke bližšímu zkoumání dat přepneme na možnost naměření souboru hodnot, které později přímo programem vyhodnocujeme.

Pozorovaný signál při průletu částice závisí na směru, ve kterém ta protíná interferenční plošky sondy. Symetrický signál s přibližně gaussovskou obálkou vznikne pokud částice prolétá kolmo, centrální rovinou optické sondy. To jsou také jediné druhy signálů, které vyhodnocujeme (měříme rychlosti právě v tomto směru v_x). Z grafu odečítáme časovou délku takového signálu Δt a počet pulsů n (např. množství maxim mezi dvěma minimy). Jeho dopplerovská frekvence je pak dána vztahem

$$\Delta\nu_D = \frac{n}{\Delta t}. \quad (4)$$

2 Výsledky měření

2.1 Kalibrace optické sondy

Vzdálenost d_F interferenčních plošek sondy anemometru provádím oběma zmíněnými způsoby. Po správném umístění mikromteru jsem na stínítku vyznačil polohu proužků a změřil relativní polohu d některých z nich, vždy s konkrétním počtem mezer mezi nimi. Následně jsem jednoduše dopočetl d_F , viz. tabulka 1. Mikrometrický šroub má nejmenší dílek velikosti $10 \mu\text{m}$. Jako aritmetický průměr vychází

$$d_F^{pro} = (30 \pm 1) \mu\text{m}.$$

počet mezer	d [μm]	d_F [μm]
14	410	29 ± 1
9	280	31 ± 2
9	260	29 ± 2

Tabulka 1: Vzdálenost dvou inter. proužků d a počet mezer mezi nimi, odpovídající vzdálenost plošek d_F .

Pro kalibraci z geometrie uspořádání jsem naměřil pásovým metrem vzdálenost stínítka od průsečíku svazků $l = (107 \pm 1) \text{ cm}$ s odhadnutou chybou a poté světelných stop laseru $h = (2.4 \pm 0.2) \text{ cm}$ připraveným pravítkem. Při $3 \times$ opakovaném měření hodnoty zůstaly stejné. Vlnová délka použitého He-Ne laseru činí $\lambda_0 = 632.8 \text{ nm}$. Ze vztahů (3) a (1) pak dostáváme

$$d_F^{geo} = (28 \pm 2) \mu\text{m}.$$

Dále budu používat arit. průměr hodnot získaných oběma metodami

$$d_F = (29 \pm 1) \mu\text{m}.$$

2.2 Rychlost částic

Podle návodu v [2] připravíme aparaturu k měření a optimalizujeme výstupní signál. Snímací frekvence je nastavena na 33.3 kHz. Vyhodnocené signály jsou v tabulce 2.

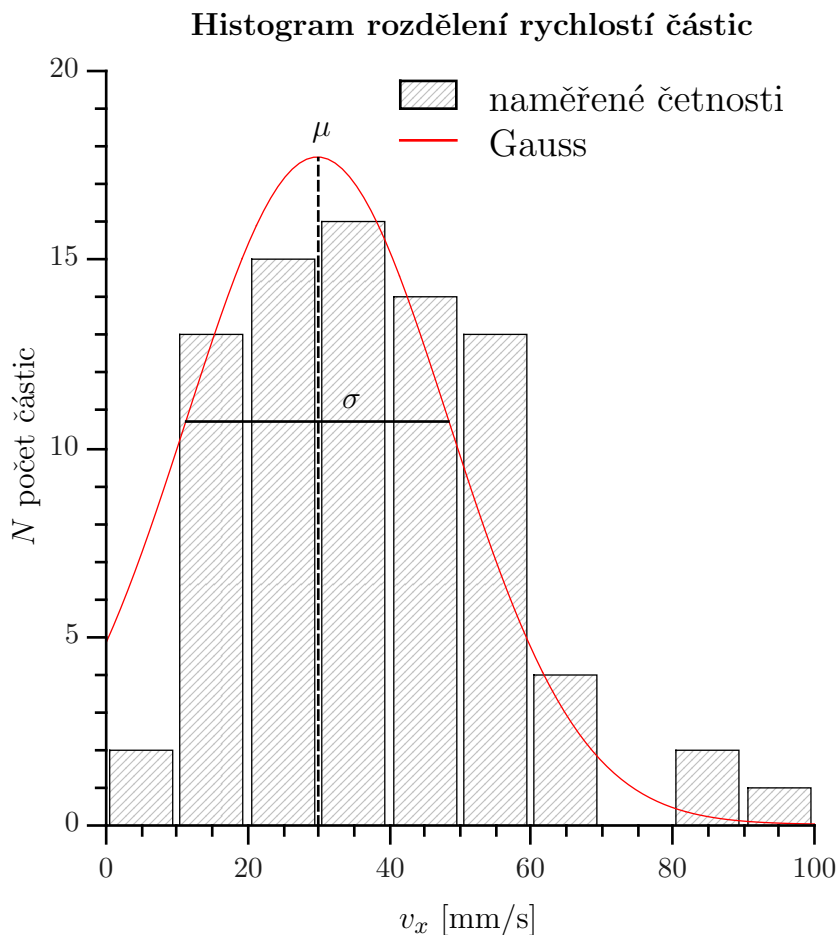
částice	Δt [ms]	n	v_x [mm/s]	částice	Δt [ms]	n	v_x [mm/s]
1	3.44	6	51	41	4.59	8	51
2	3.14	6	55	42	4.68	7	43
3	5.24	5	28	43	5.54	8	42
4	3.01	4	39	44	3.69	6	47
5	3.06	4	38	45	4.86	3	18
6	4.26	5	34	46	5.99	8	39
7	4.32	4	27	47	2.16	6	81
8	6.09	8	38	48	1.89	6	92
9	3.32	3	26	49	7.88	6	29
10	4.81	8	48	50	2.81	8	83
11	4.52	6	38	51	4.01	6	43
12	13.66	6	13	52	3.13	3	28
13	5.65	8	41	53	5.21	5	28
14	18.37	3	5	54	3.57	6	49
15	12.51	6	14	55	6.86	6	25
16	10.06	3	9	56	3.46	7	59
17	6.55	5	22	57	3.30	6	53
18	4.08	5	36	58	5.21	4	22
19	4.56	8	51	59	9.07	5	16
20	5.63	3	15	60	3.50	6	50
21	9.05	4	13	61	3.58	6	49
22	11.96	6	15	62	10.49	6	17
23	10.20	8	23	63	5.16	5	28
24	3.87	5	37	64	4.50	9	58
25	6.32	7	32	65	3.34	6	52
26	9.79	6	18	66	3.28	7	62
27	3.73	7	54	67	2.95	4	39
28	3.43	6	51	68	5.93	7	34
29	6.69	6	26	69	4.43	5	33
30	7.40	8	31	70	12.40	6	14
31	5.16	6	34	71	6.81	4	17
32	11.42	5	13	72	5.00	7	41
33	4.31	6	40	73	3.62	5	40
34	5.09	7	40	74	5.13	6	34
35	5.64	6	31	75	9.99	7	20
36	4.07	4	29	76	4.88	7	42
37	2.94	7	69	77	3.37	8	69
38	2.91	6	60	78	9.56	5	15
39	3.18	6	55	79	9.07	7	22
40	3.37	5	43	80	4.58	8	51

Tabulka 2: Soubor 80 vyhodnocených signálů, časová délka Δt , počet pulsů n a výsledná rychlost částice v_x .

Histogram rozdělení četností podle rychlosti na obr. 2, šířka binu volena 10 mm/s. Proložen funkcí normálního rozdělení s parametry μ , σ a výsledná střední rychlost v

$$\begin{aligned}\mu &= (29.8 \pm 2.0) \text{ mm/s}, \\ \sigma &= (18.5 \pm 2.7) \text{ mm/s}, \\ v &= (30 \pm 19) \text{ mm/s}.\end{aligned}$$

Na obr. 3 pak možno nahlédnout na několik ukázek pozorovaných signálů.



Obrázek 2: Histogram rozdělení rychlostí částic v květetě.

3 Diskuse výsledků

Vzdálenosti interferenčních plošek sondy d_F zjištěné metodou projekce nebo z geometrie uspořádání se v rámci chyby shodují. Pro následné zpracování byla použita hodnota $29 \mu\text{m}$, což odpovídá i jinak asi nejvěrohodnějšímu výsledku ze všech samostatných měření, totiž metodou projekce při přeměření 14 mezer sondy. Větší chyba při užití geometrického uspořádání je samozřejmě způsobena nepřesným měřením vzdáleností l (nelehké identifikování konkrétního umístění sondy) a h (podobně středy stop na stínítku, jejich velikost). Potenciálně by se však mohla stát daleko přesnější než metoda projekce.

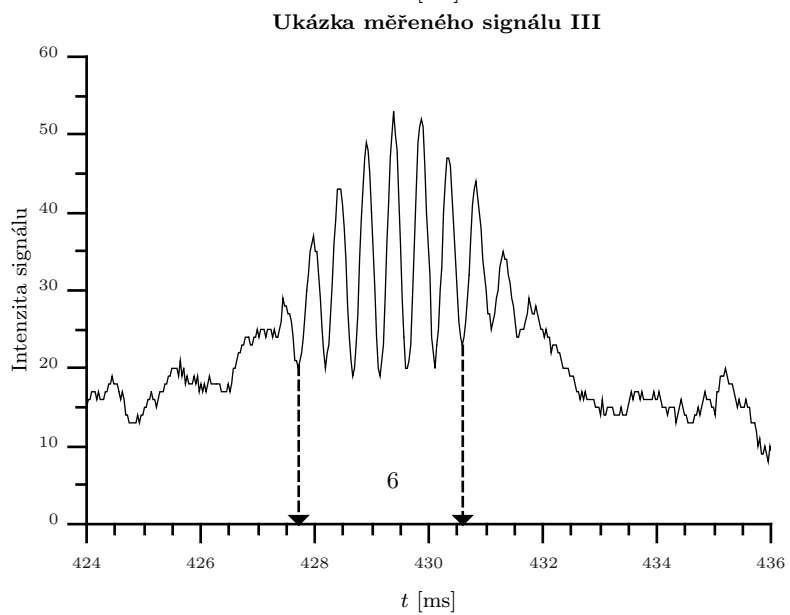
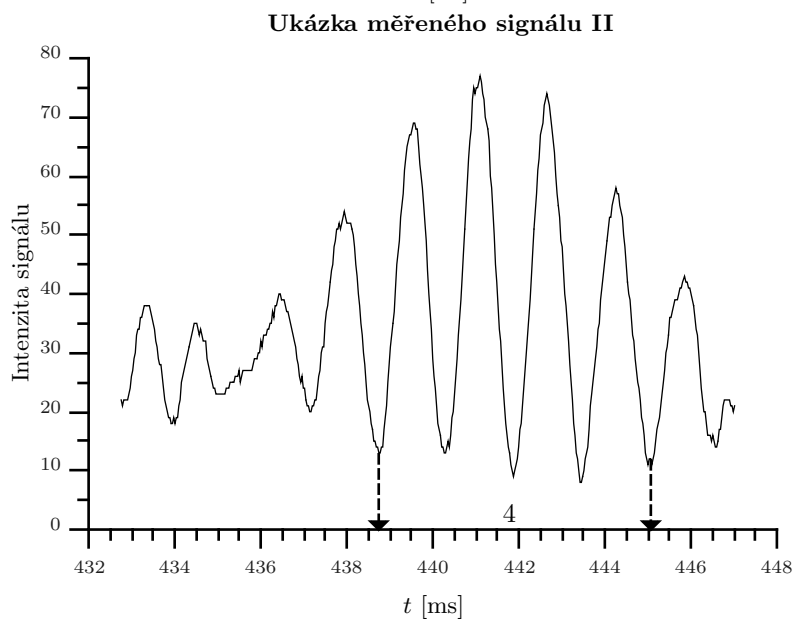
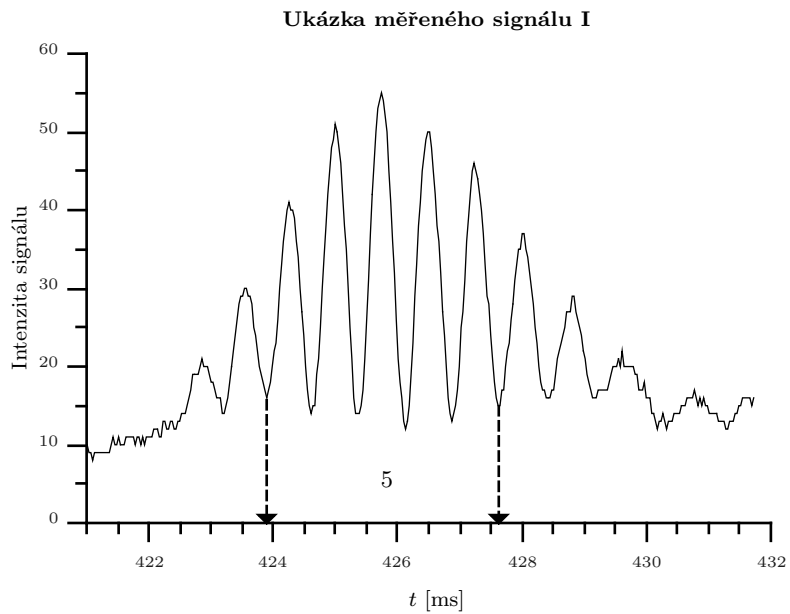
Skutečnost, že kalibrace sondy probíhá na vzduchu a vlastní měření ve vodě by na výsledek neměl mít výrazný vliv, protože změna λ_0 a $\sin \frac{\theta}{2}$ spojená s novým indexem lomu prostředí se vzájemně kompenzuje ($\lambda_0, \sin \frac{\theta}{2} \sim \frac{1}{n}$).

Rozdělení rychlostí částic ve vodě skutečně připomíná očekávané normální rozdělení, ačkoli pro lepší představu by bylo vhodné proměřit daleko větší soubor částic než 80, navíc vzhled histogramu na obr. 2 je silně determinován výběrem šířky a počtu binů (počátku a konce). Z něj a z tabulky 2 je patrné, že většina rychlostí je shromážděna v intervalu 10 až 60 mm/s a některé extrémní naměřené výsledky dokonce leží izolovány od zbytku souboru. Vybírání zpracovaných signálů bylo založeno na čistě subjektivním měřítku vhodnosti, což znamená, že zcela jistě byly některé opomenuty, nezapočítány, naopak výrazně „pěkné“ a extrémní se těšily větší pozornosti. Právě proto by bylo vhodné měřit ještě větší soubor, což však vzhledem k metodice analýzy signálu pomocí programu *Anemometrie* a vyhrazenému času v praxi není ideálně možné.

4 Závěr

Okalibroval jsem optickou sondu anemometru pomocí projekce a z geometrického uspořádání. Vzdálenost interferenčních plošek

$$\begin{aligned} d_F^{pro} &= (30 \pm 1) \mu\text{m}, \\ d_F^{geo} &= (28 \pm 2) \mu\text{m}. \end{aligned}$$



Obrázek 3: Několik ukávek pozorovaných signálů.

Připravil jsem aparaturu pro měření rychlosti částic ve vodě a optimalizoval výstupní signál. Vyhodnotil jsem měření celkem 80 částic, viz. tabulka 2, histogram na obr. 2. Střední rychlost částic v kyvetě vychází

$$v = (30 \pm 19) \text{ mm/s.}$$

Výsledky byly zpracovány a grafy sestrojeny pomocí programu *QtiPlot 0.9.8.4*.

Reference

- [1] Studijní text, praktikum III: Laserová dopplerovská anemometrie, <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
- [2] Studijní text, praktikum III: Pokyny k měření úlohy 18, <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
- [3] English J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření, 1999, <http://physics.mff.cuni.cz/to.en/vyuka/zfp>