



## Produktbeskrivelse

Denne udstyrspakke gør det muligt at arbejde eksperimentelt og kvantitativt med Dopplereffekten:

*Det vil sige at vise hvordan frekvensen af et lydsignal ændres, når lysgiveren bevæger sig i forhold til modtageren.*

Sættet består af en senderdel (batteridrevet med genopladelige batterier) og en modtagerdel (drives med strøm fra Elektronisk tæller - 200270).

Der anvendes en ultralydsender, som afgiver lyd med en meget konstant frekvens. Ultralyd anvendes, da de fleste støjkilder udsender hørbar lyd, som ved flere forsøg samtidig giver "lydstøj" – ultralydsignalet høres ikke, og målingerne forstyrres ikke så let.

Senderen anbringes på en luftpudevogn, som kan bevæge sig med næsten konstant hastighed. Signalet opfanges af en modtager, som befinder sig i hvile. Udstyret udsender ultralyd med en frekvens på;  $f = 40 \text{ kHz}$  (nom.) til at skabe en lyd reference i forhold til det bevægelige emne.

Hastigheden af vognen måles med en fotocelle, som også giver et startsignal til den elektriske tæller, som skal måle frekvensen af det målte signal fra ultramodtageren.

Målingen af data fra ultramodtageren og fotocellen foregår med en elektronisk tæller, som er i stand til at udføre hurtige og præcise frekvensmålinger. For at sikre at signalet er "rent nok" til at opnå en præcis måling gøres brug af et smalbåndet ultralydsignal og en elektronisk filtrering, hvilket i sin kombination stort set eliminerer enhver uønsket støjpåvirkning.

## Udstyrspakke i 258000 - Dopplereffekt på luftpudebænk

- Sender og batterienhed
- Modtager
- 398610 - USB 2.0 kabel, A han til USB C han
- (97850117) - Opspændingstap  $\varnothing 10$

## Tilbehør til 258000

- 200270 - Elektronisk tæller (2x modularkabler medfølger)
- 000600 - Stativfod, trefod
- 197560 - Fotocelle med modularstik
- 195050 - Luftpudeskinne

## Opstilling



### Opstilling af Dopplereffekt eksperiment på luftpudebænk.

Opstillingen af Dopplereffekt eksperimentet kan ske efter samme anvisning som på produktbilledet ovenfor.

Processen starter med at justér luftpudeskinnen så den er helt vandret.

Dernæst placeres sættet med sender- og batterienheden på vognen der indgår i luftpudebænk 195050. Sættet "låses" med en "fane" der er placeret på toppen af vognen. Fanen har en veldefineret bredde (fx 25 mm), og fungerer som afbryder for fotocellens lysstråle ved passage.

Placer senderen på den medfølgende stang i en stabil sokkel, så den peger uhindret mod modtageren.

Monteringsbeslag til fotocellen placeres ved 55 cm mærket.

## Måling

Når vognen sættes i bevægelse sig forbi fotocellen, sker der to ting:

- 1) Frekvensmålingen starter og vognen gennemkører en foruddefineret strækning.
- 2) Passagetiden for fanens passage igennem fotocellen måles

Sidstnævnte af disse resultater (sammen med fanebredden) bruges til at beregne vognens hastighed. For at måle hvilefrekvensen (referenceværdien) skal vognen holdes stille - herefter aflæses en "normal frekvensmåling" på den elektronisk tæller, ved at simulere en forbi kørsel på fotocellen med pegefingern.

## Tilslutning

Tilslutninger til Elektronisk tæller (200270):



1. Tilslut *Fotocelle* (197560) med modularstik til "Gate"-indgangen (Input A).
2. Opstil i en trefod (000600) *Dopplereffekt-modtageren* ved 5 cm-mærket på luftpudebænken
3. Tilslut *Dopplereffekt-modtageren* til "frekvens"-indgangen (Input B).
4. Opstil modtageren i en trefod (000600) eller i beslag til luftpudebænk ved en tilfældig placering efter 55 cm-mærket på luftpudebænken.

## Eksperiment

Undersøgelse af Dopplereffekten: *Vi vil vise, hvordan frekvensen af et lydsignal ændres, når en lyd giver bevæger sig i forhold til modtageren.*

### Teori

Lydens hastighed  $v_L$  er temperaturafhængig. Beregn den ud fra denne formel, hvor temperaturen  $T$  skal indsættes i celsiusgrader:

$$v_L = 331,37 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,588 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot T$$

Teorien for Dopplereffekten for lyd kan opsummeres i nedenstående formel:

$$f = f_0 \cdot \frac{v_L - v_M}{v_L + v}$$

- hvor

- $v$  er *senderens* hastighed i forhold til luften  
- positive hastighed: **væk** fra modtageren
- $v_M$  er *modtagerens* hastighed i forhold til luften  
- positive hastighed: **væk** fra senderen
- $v_L$  er lydens hastighed
- $f_0$  er den frekvens, som udsendes af senderen
- $f$  er den frekvens, som er den målte værdi som registreres af modtagerenheden

(Dopplereffekten kan også opleves med elektromagnetisk stråling (*lys, radiobølger, radar* osv.) - formlen ovenfor dækker ikke dog ikke dette tilfælde!).

I vores tilfælde er modtagerens hastighed lig med nul;  $v_M = 0$ . Formlen der beskriver frekvensændringen vil da kunne omskrives til følgende:

$$\Delta f = f - f_0 = f_0 \cdot \frac{-v}{v_L + v}$$

## Udførelse

Når fanen på vognen bryder fotocellens lysstråle, starter to ting i den elektriske tæller:

*Der tages tid på, hvor længe der skygges for fotocellen, og der påbegyndes en frekvensmåling, som forløber over en fast tidsperiode (gate-time - kan indstilles på den elektrisk tæller).*

Når begge målinger er overstået, kan resultatet aflæses i displayet. (For at undgå misforståelser: *Gate-tiden* er altså **ikke** det samme som *passagetiden* i fotocellen.)

Vi skal måle *meget små* ændringer i frekvensen, og selv om senderen er konstrueret til at afgive en fast frekvens, skal du alligevel måle frekvensen i hvile  $f_0$  førend hver måling af den forskudte frekvens  $f$  (med vognen i bevægelse). Passagetiden  $\Delta t$  er den tredje værdi, der skal bestemmes for hvert målepunkt.

Gentag med forskellige hastigheder - både væk fra og hen imod modtageren.

Fortegn for bevægelsen: Vi regner hastigheden **positiv** i retningen **væk fra modtageren**.

De målinger, hvor vognen bevæger sig hen mod ultralydsmodtageren, noteres med negativ  $\Delta t$ .

## Udførelse (sekvens)

1. Benyt opstilling og tilslutninger fra foranstående afsnit "tilslutning"
2. Mål fanen på vognen og noter i skema  $\Delta s$  (se nedenfor)
3. Følg menu på elektronisk tæller:
  - a. Find referencefrekvens og noter i skema – Vælg på hovedmenu - Frequency
  - b. Tænd for transmitter (trykknap i bagenden af senderen).
  - c. Læg mærke til, at en diode nu lyser på Receiver. (Obs! Kan flimre lidt, når vognen er længst væk)
  - d. Hold vognen i ro, og mål  $f_0$  ved at køre en finger igennem fotocellen
  - e. Vælg på hovedmenu - Frequency, gated. (Reset (tryk på **X**) målingen i menuen under **Frequency, gated**)
  - f. Sæt vognen i bevægelse
  - g. Måling foretages, når vognen med retning mod receiver passerer fotocelle.
  - h. Noter den målte værdi for  $f$  og  $\Delta t$  i tælleren i nedenstående skema
  - i. Reset (tryk på **X**) målingen i menuen under **Frequency, gated** og gentag ovenstående proces

Resultaterne kan med fordel indføres i et skema som vist. (Da der indgår formler, vil et regneark være en fordel.

## Efterbehandling

For hver måling bestemmes hastigheden som

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

- hvor fortegnet for hastigheden følger af det, der er angivet for  $\Delta t$ .

Udvid og udfyld tabellen med disse nye kolonner: v / f Målt / f Teo /afvigelse.

Bemærk fortegnet for de to frekvensændringer; de skulle gerne begge være *negative*, når vognen bevæger sig i positiv retning, dvs. væk fra modtageren - og omvendt. Afvigelsen mellem målt og teoretisk frekvensændring angives i procent.

## Diskussion og evaluering

Beskriv overensstemmelsen mellem de teoretiske og de målte frekvensændringer.

Er der en sammenhæng mellem afvigelserne og hastighedens størrelse? Giv i så fald et bud på en forklaring.

	A	B
1	Run 1	
2	v sound	340
3		
4	f o	40,00023
5	f meas	40,04673
6		
7	$\Delta s$	25
8	$\Delta t$	8,429
9	v meas	2,965950884 =E7/E8
10		
11		
12	f theo	40,35224 =E4*E2/(E2-E9)
13	diff	0,7629% =E12/E5-1
14		