

Sami Laubo, Martin Steinholt Bygdås

EMPHASIS

Dette dokumentet, som en del av EMPHASIS-prosjektet, beskriver mulige laboratorieprosjekter for kommende studenter i følgende fag:

FY1001	Mekanisk Fysikk
TFY4163	Bølgefysikk og Fluidmekanikk
TFY4165	Termisk Fysikk
FY1003	Elektrisitet og Magnetisme

Vår 2024

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
Fakultet for Naturvitenskap
Institutt for Fysikk



Innhold

1	Arduino og PhyPhox	2
2	Mekanisk Fysikk	5
2.1	Fjærkonstant	6
2.2	Wilberforce-pendel	8
2.3	Torsjon i snor	9
2.4	Skråplan	10
2.5	Pendel	12
2.6	Statistisk analyse	14
2.7	Uelastisk støt	15
2.8	Trykk	16
3	Bølgefysikk og Fluidmekanikk	17
3.1	Stående bølger i rør	18
3.2	Doppler-Pendel	23
4	Elektrisitet og Magnetisme	24
4.1	Magnetfelt rundt Foucaultpendelen	25
4.2	Magnetfelt rundt en ledning	27
5	Termisk Fysikk	28
5.1	Kjøleskap	29
5.2	Elektronikk i en fryser	31
	Referanser	32

Kapittel 1

Arduino og PhyPhox

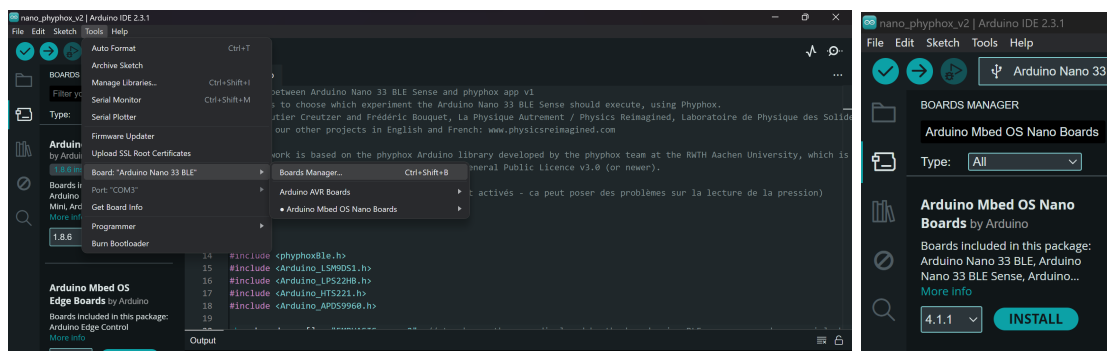
Følgende er instruksjoner på oppsett av innhenting av sensordata fra en Arduino Nano 33 BLE. Instruksjonene er hentet fra nettstedet [1].

1 - Installasjon av Arduino IDE

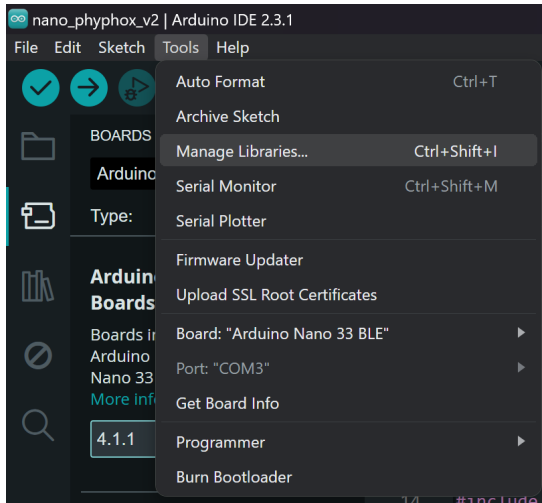
Gå til [Arduino Software](#) og installer programmet. Referer til [installasjonsguiden](#) om nødvendig.

2 - Installer Brett og Bibliotek

Naviger til **Tools** → **Board** → **Board Manager** og installer *Arduino Mbed OS Nano Boards* slik at Arduino kan kommunisere med tilkoblet brett (Nano 33 BLE).



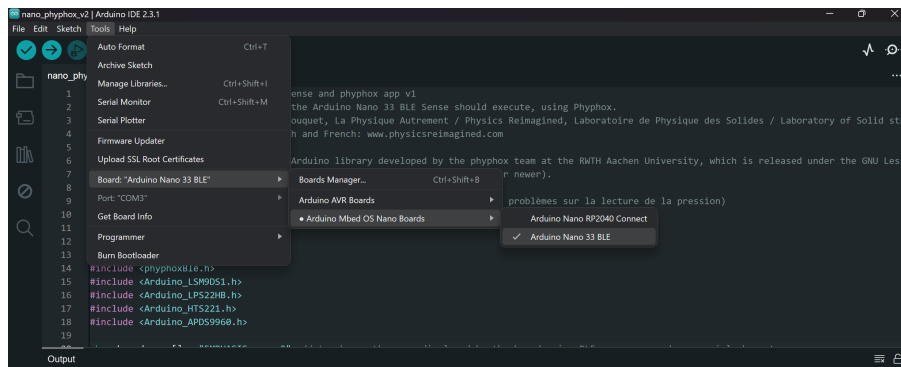
Installer følgende bibliotek i **Tools** → **Manage Libraries** slik at brettet kan hente data fra sensorer.



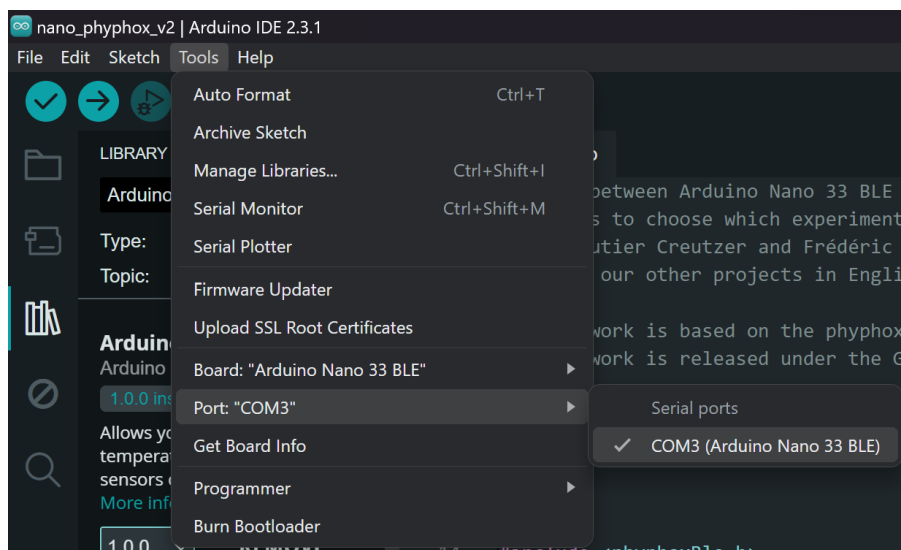
- *phyphox BLE*
- *Arduino_LSM9DS1*
- *Arduino_LPS22HB*
- *Arduino_HTS221*
- *Arduino_APDS9960*

3 - Koble til brettet og velg port

Koble brettet til PC'en med en micro-USB. Velg brett-type i **Tools** → **Board** → **Arduino Mbed OS Nano Boards** → **Arduino Nano 33 BLE**.

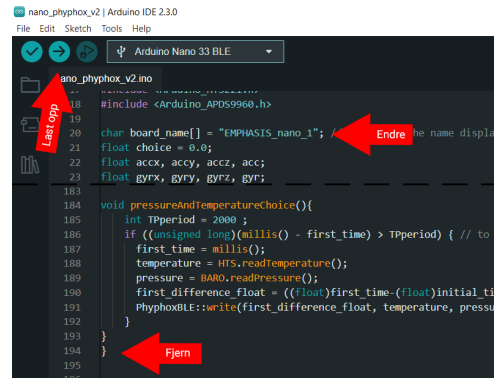


Velg deretter COM-porten som hører til brettet i **Tools** → **Port**. Det vil gjerne stå f.eks. *COM 6 (Arduino Nano 33 BLE)* eller så kan man koble brettet inn og ut og se hvilken port som endrer seg.



4 - Arduino kode

Last ned [Arduino Sketch](#) og åpne filen i Arduino. Endre `board_name` til ønsket navn (linje 20). Bla helt ned til siste linje og fjern ekstra krøllparantes om nødvendig. Kompiler og last opp til brettet med **Upload** knappen.



```
17 #include <Arduino.h>
18 #include <Arduino_APDS9960.h>
19
20 char board_name[] = "EMPHASIS_nano_1";
21 float choice = 0.0;
22 float accx, accy, accz, acc;
23 float gyfx, gyfy, gyfz, gyf;
24
25 void setup() {
26   Serial.begin(9600);
27   APDS.begin();
28   choice = 0.0;
29   accx = 0.0; accy = 0.0; accz = 0.0;
30   gyfx = 0.0; gyfy = 0.0; gyfz = 0.0;
31 }
32
33 void loop() {
34   if (choice > 0.0) {
35     APDS.readGesture();
36     if (APDS.gestureDetected()) {
37       APDS.gestureType();
38       choice = 0.0;
39     }
40   }
41   void pressureAndTemperaturechoice(){
42     int Tperiod = 2000;
43     if ((unsigned long)millis() - first_time > Tperiod) { // to
44       first_time = millis();
45       temperature = HTS.readTemperature();
46       pressure = BARO.readPressure();
47       first_difference_float = ((float)first_time - (float)initial_time);
48       PhyphoxBLE::write(first_difference_float, temperature, pressure);
49     }
50   }
51 }
52 }
```

5 - PhyPhox

Last ned [PhyPhox](#) til mobilen. Trykk + → **Add experiment from QR code**. Scan så denne QR koden (finnes også i [1]):



Ved å velge en av de nye eksperimentene kan man så koble til Arduinoen via bluetooth. PhyPhox kan også brukes selvstendig uten Arduino.

Kapittel 2

Mekanisk Fysikk

I dette kapitlet tar vi for oss diverse forsøk en kan gjennomføre i sammenheng med faget Mekanisk Fysikk (FY1001) ved bruk av appen PhyPhox.

Forsøk:

- 2.1 Fjærkonstant
 - 2.2 Wilberforce-pendel
 - 2.3 Torsjon i snor
 - 2.4 Skråplan
 - 2.5 Pendel
 - 2.6 Statistisk analyse
 - 2.7 Uelastisk støt
 - 2.8 Trykk
-

2.1 Fjærkonstant

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

2.1.1 Beskrivelse

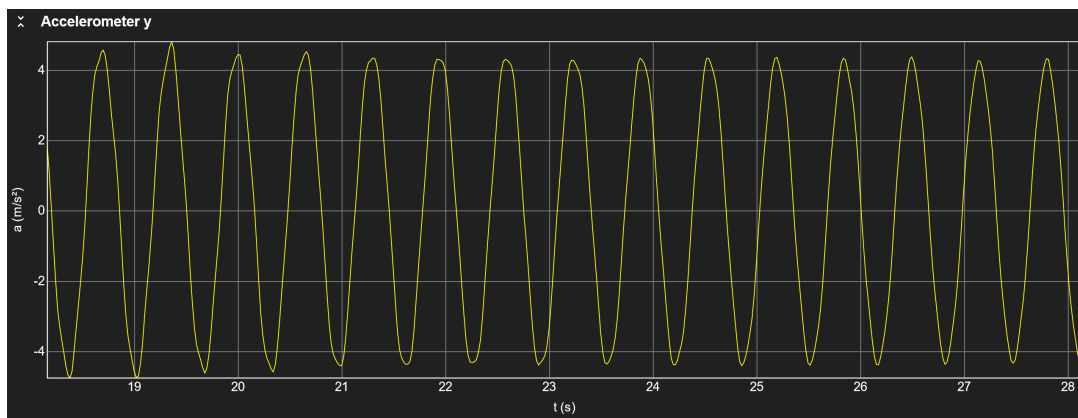
Bestem fjærkonstanten til en fjær.

2.1.2 Metode

Mål massen til en mobil/Arduino og deretter mål perioden til den vertikale svingebvevelsen med PhyPhox når sensoren henger i en fjær. Vi finner den generelle løsningen $y(t) = A \cos(\omega t)$ fra $my'' + ky = 0$ og benytter sammenhengen mellom vinkelhastighet, masse og fjærkonstant til å estimere fjærkonstanten. Ved å se på tiden mellom to topper (Δt) i akselerasjonsplottet med *Spring* i PhyPhox, kan man ved hjelp av den generelle løsningen dedusere ω gjennom $\omega \Delta t = 2\pi$, og til slutt regne ut k med $k = m\omega^2$.

2.1.3 Resultater

Med en masse på 188 gram (mobil) og en målt periode på 0.65s fra Figur 2.1.1 finner vi en estimert fjærkonstant på 17.57 N/m. Eksperimentet er repetert med andre enheter (mobiler og Arduino) med forskjellige masser og perioder, og resultatene er fremstilt i Tabell 2.1.1.



Figur 2.1.1: Akselerasjon langs y-aksen til pendelen.

Masse (g)	Periode (s)	Fjærkonstant (N/m)
188	0.65	17.57
152	0.59	17.24
108	0.50	17.05
148	0.59	16.78

Tabell 2.1.1: Estimert fjærkonstant med ulike masser.

2.1.4 Diskusjon

Uten kjennskap til fjæren er det vanskelig å si noe om hvor nært dette estimatet er den virkelige verdien. Derimot er fjærkonstanter alltid bestemt empirisk, og resultatene har liten variasjon i estimert fjærkonstant for ulike vekter.

$$\text{Nyttige ligninger: } \omega^2 = k/m \quad my'' + ky = 0 \quad y(t) = A\cos(\omega t)$$

2.1.5 Forslag til oppgave

På det laveste nivået kan studentenes oppgave simpelthen være å bestemme fjærkonstanten til fjæren. Dette er en enkel oppgave hvor vi anser fremgangsmetoden utført over som relativt åpenbar. En kan derimot åpne opp for å bestemme denne størrelsen ved andre metoder. I tillegg, for viderekommende studenter er det mulig å planlegge og sette opp mer avanserte/interessante forsøk, f.eks. en dempet pendel. Denne kan en med fordel gjennomføre ved at massen festet i enden av fjæren svinger i en bølge med vann. Unngå helst at måleinstrumentet er i kontakt med vannet, i så fall sørg for at utstyret er tilstrekkelig beskyttet.

2.2 Wilberforce-pendel

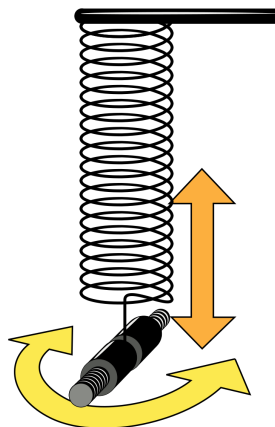
Vanskelighetsgrad: Universitet

2.2.1 Beskrivelse

En "Wilberforce-pendel", oppfunnet av den britiske fysikeren Lionel Robert Wilberforce rundt 1896, er en koplet mekanisk oscillator. Oppsettet består av en masse som henger i en lang fjær med mulighet til å rotere rundt sin egne vertikale akse, slik at fjæren snurres. Pendelen veksler mellom å oscillere i en av to faser, translatorisk (opp og ned) og roterende. Denne vekslingen skyldes en svak kobling mellom de to bevegelsene i geometrien til fjæren. Energien i fjæren veksler sakte mellom de to modene til friksjon omsider tar livet av morsomhetene.

2.2.2 Metode

Målet er å ha periodene til den translatoriske og roterende oscillasjonen omtrent lik hverandre. Dette vil tillate nesten fullstendig energioverføring mellom de to modene. Dette må en ta hensyn til når en setter opp forsøket, en kan justere ved å endre posisjonene til vektene.



Figur 2.2.1: Wilberforce oppsett. Hentet fra [Wikipedia](#).

2.2.3 Diskusjon

Utfordringen for dette systemet er å lage et oppsett som tillater god energioverføring mellom de to fasene, her kan en prøve seg frem. Måleinstrumentet må være en del av massen, dette kan by på utfordringer og studentene blir nødt til å være kreative.

2.2.4 Forslag til oppgave

Generelt kan studentenes oppgave være å sette seg inn i fysikken bak Wilberforce pendelen og planlegge samt gjennomføre et eksperiment som demonstrerer effekten. Videre kan det være interessant å undersøke og diskutere energibevaring ut ifra data man får om svingning og rotasjon.

2.3 Torsjon i snor

Vanskelighetsgrad: Universitet

2.3.1 Beskrivelse

Fest et måleinstrument (mobil/Arduino) i en snor og roter måleinstrumentet rundt snorens akse. Torsjon fra snoren vil føre til rotasjon som kan ansees som en harmonisk oscillasjon rundt likevektspunktet. Bestem perioden og dermed et estimat for torsjonskonstanten til snoren.

2.3.2 Metode

Anta at torsjonen fra snoren på måleinstrumentet er proporsjonal med vinkelen måleinstrumentet er rotert ut av likevekt. Altså har snoren en torsjonskonstant $c = -\tau/\theta$, hvor τ er torsjon og θ er vinkelen. Minustegnet kommer naturligvis fra at torsjonen motvirker rotasjonen den er påført. Deretter kan en benytte en variant av Newtons andre lov $\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$, hvor I er måleinstrumentets treghetsmoment. Altså har vi $I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -c\theta$, som burde være en kjent ligning. Ligningen beskriver en enkel harmonisk bevegelse og en finner at vinkelhastigheten til svingningen er $\omega^2 = \frac{c}{I}$. Videre får vi altså at $c = \omega^2 I = \frac{4\pi^2}{T^2} I$, hvor perioden T kan bestemmes fra eksperimentet.

2.3.3 Forslag til oppgave

Bestem torsjonskonstanten til en snor ved å betrakte harmonisk bevegelse og treghetsmoment.

2.4 Skråplan

Vanskelighetsgrad: Universitet

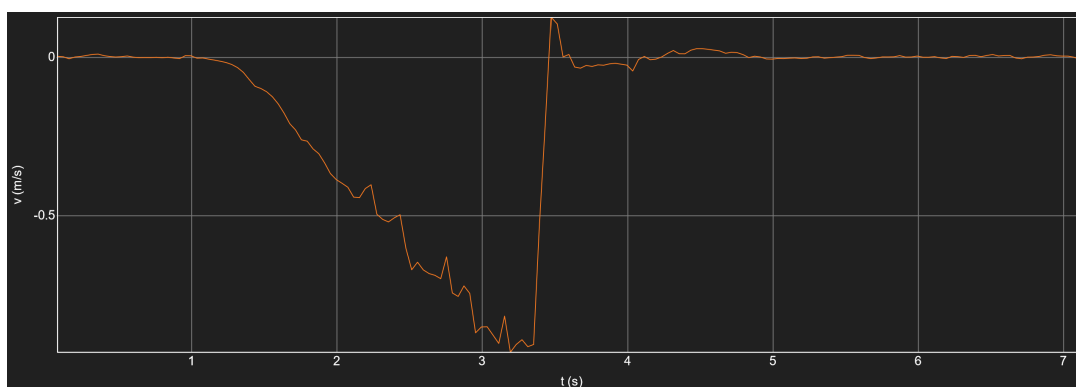
2.4.1 Beskrivelse

Estimer vinkelen til et skråplan ved å måle hastighet/akselerasjon til en rull som ruller ned skråplanet.

2.4.2 Metode

Bruk for eksempel *Roll* funksjonen i PhyPhox til å estimere akselerasjon/hastighet til rullen. Vi brukte en mobil inni en gaffateip-rull. Utled deretter en passende formel der en tar i betraktning massefordelingen til rullen, og finn et estimat for planets vinkel. Vi benyttet $\tau = F \cdot R = I\alpha$ med passende treghetsmoment og deretter $F = ma$ med geometriske sammenhenger fra skråplanet til å estimere vinkelen. Kontroller deretter resultatet med funksjonen *Incline* i PhyPhox.

2.4.3 Resultater







Figur 2.4.1: Hastighet (m/s) av rull på skråplan som funksjon av tid (s) målt med *Roll* funksjonen i PhyPhox.

2.4.4 Diskusjon

For å finne riktig vinkel trenger man en beskrivende formel for treghetsmomentet til rullen. Vi har brukt fire tilnærminger av treghetsmoment for å estimere vinkelen på planet som er presentert i Tabell 2.4.1.

Her er utfordringen å utlede rett formel for gjeldende oppsett. Oppsettet vårt ligner skjematisk mest på ”Hul sylinder med måleinstrument” men den formelen resulterer altså bare i nest best estimat av den faktiske helningen til planet. Tabell 2.4.1 viser resultater for et plan med 4 grader helning for ulike treghetsmomenter.

Beskrivelse	θ	$\theta = 4.0^\circ$	Figur
Sylinder	$\sin^{-1}\{\frac{3a}{2g}\}$	4.4°	
Sylinder med to tettheter	$\sin^{-1}\{\frac{a}{g}(1 + \frac{1}{2}(\frac{M}{M+m} + (\frac{r}{R})^2))\}$	4.6°	
Hul sylinder	$\sin^{-1}\{\frac{a}{2g}(3 + (\frac{r}{R})^2)\}$	5.3°	
Hul sylinder med måleinstrument	$\sin^{-1}\{\frac{a}{g}(1 + \frac{1}{M+m}((\frac{M}{2} + \frac{m}{3})\frac{r^2}{R^2} + \frac{m}{2}))\}$	4.4°	

Tabell 2.4.1: Formeler for utregning av vinkelen til plan basert på forskjellige treghetsmomenter. Her er $r = r_{indre}$ og $R = r_{ytre}$ i teiprullen, og $M = m_{teip}$ og $m = m_{mobil}$. Kolonne 3 viser estimert vinkel basert på formelen når planet har 4 grader helning.

2.4.5 Forslag til oppgave

Det er verdt å nevne at det er gode muligheter for å snu på problemstillingen i denne oppgaven. For eksempel kunne oppgaven vært å estimere treghetsmomentet til rullen basert på akselerasjon og helning. Igjen er det mulighet for å gi studentene en åpen oppgave f.eks. benytt en sylinder, et skråplan og mobiltelefon/Arduino og utfør et interessant eksperiment hvor treghetsmomentet til sylinderen står sentralt.

2.5 Pendel

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

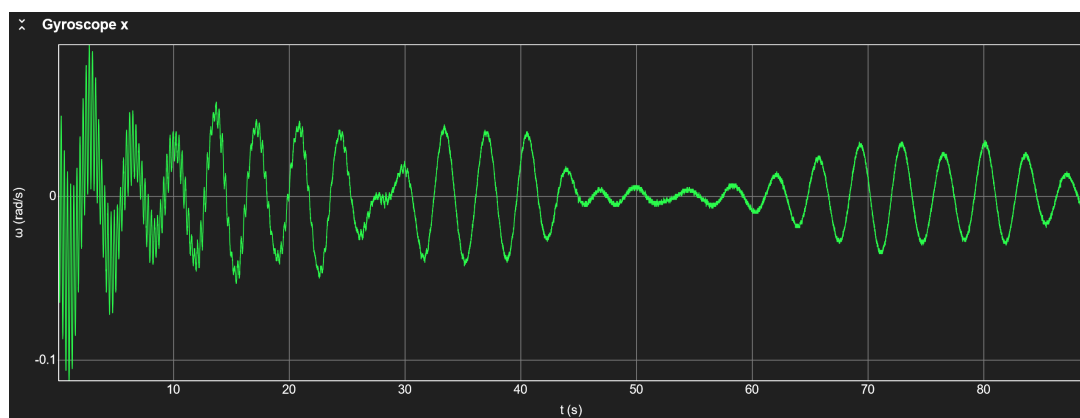
2.5.1 Beskrivelse

Estimer lengden til en pendel ved å måle perioden.

2.5.2 Metode

Fest en snor høyt oppe og ha en måleinstrument (Arduino/mobil) hengende i bunnen av snoren. Bruk så gyroskop-data til å bestemme perioden til svingningen av pendelen. Antar vi at det er en ideel pendel med små vinkelutslag kan vi benytte sammenhengen $\omega^2 = g/l$ og finne et estimat for lengden av pendelen med $l = \frac{gT^2}{4\pi^2}$, hvor $\omega = 2\pi/T$.

2.5.3 Resultater



Figur 2.5.1: Målt vinkelhastighet over tid for pendel.

2.5.4 Diskusjon

Vi estimerer perioden T til å være 3.5 s og dette antyder en lengde $l = \frac{9.81 \cdot 3.6^2}{4\pi^2} = 3.22$ m. Den faktiske lengden på snora var 3.3 m.

En utfordring med oppsettet er at spesielt mobilen er utsatt for rotasjon. Når mobilen roterer i tillegg til å svinge påvirker det gyroskopet, dette gir utslag på målingene og er tydelig i Figur 2.5.1. Dermed er det konstruktivt å observere måleverdiene og pendelen samtidig for å bekrefte hvilke utslag en skal se nærmere på. Her må en også være bevisst på enhetens orientering. Det kunne også vært interessant å måle svingningene over et lengre tidsrom for å se hvorvidt det er en form for periodisitet i amplituden. Til slutt anbefaler vi å ta videoopptak av pendelen parallelt med målingene. Dette vil kunne forenkle og berike analyserings prosessen i etterkant.

2.5.5 Forslag til oppgave

Oppgaven som ble gjort i vårt eksperiment er relativt enkel og passer for videregående elever: estimere lengden til en pendel ved å måle perioden.

Vi ser tydelig ut i fra dataene fra eksperimentet at man kan gjøre mer analyse, og dermed gjøre oppgaven mer komplisert. F.eks. kan man formulere en mer generell oppgave om å undersøke gyroskop-dataene ved å se på periodisiteten mellom innsamlet vinkelhastighet i de tre forskjellige retningene. I tillegg kan man gjøre beregninger på bevaring av energi, ved å inkludere alle retninger.

Et annet viktig punkt i fysikk er å være kritisk til oppsett av eksperimentet og teori man bruker. Man kan dermed formulere spørsmål som går ut på å være kritisk til formlene og approksimasjonene man bruker, ved å undersøke hvorvidt antagelsene om ideel pendel med små vinkelutslag holder for ulike vinkler.

Til slutt kan studentene prøve seg på en dobbelpendel.

2.6 Statistisk analyse

Vanskelighetsgrad: Universitet

2.6.1 Beskrivelse

Gjør en statistisk analyse av måleinstrumentene til mobiltelefonen/Arduionen.

2.6.2 Metode

Bruk en valgfri funksjon i PhyPhox og gjøre en måling på en størrelse som er kjent. Det burde være noe studentene kan kontrollere i utgangspunktet, f.eks. en strøm eller frekvensen til en lydbølge. Gjør målinger på denne størrelsen og deretter analyser dataene i lys av den kjente størrelsen.

2.6.3 Diskusjon

Diskuter hvordan målingene samsvarer med det som er forventet. Finn avvik, variasjon og relevante størrelser fra statistikken som kan bidra i analysen av måleinstrumentet.

2.6.4 Forslag til oppgave

Gjennomfør en statistisk analyse av en eller flere sensorer i mobil/Arduino og diskuter grad av presisjon, begrensninger og hvordan dette vil påvirke måledata fra eksperimenter.

2.7 Uelastisk støt

Vanskelighetsgrad: Videregående

2.7.1 Beskrivelse

Beregn starthøyde til en ball basert på tiden mellom tre sprett. Hentet fra [2].

2.7.2 Metode

Bruk en lydaktivert stoppeklokke med flere målinger (*Acoustic Stopwatch* med *Sequence*) og slipp en ball fra en høyde. Deretter kan vi bruke tiden mellom tre sprett til å anslå starthøyden. Δt mellom to sprett kan brukes med formelen

$$h = \frac{1}{2}g(\Delta t/2)^2$$

til å anslå den maksimale høyden ballen hadde mellom to sprett. Ved å gjøre dette for to påfølgende intervaller får man to høyder h_1 og h_2 , som henholdsvis har energiene E_1 og E_2 . Ved å bruke antagelsen om at ballen mister like mye energi mellom hvert støt, får man formelen $E_2 = E_1 \cdot h_2/h_1$, og dermed blir

$$h_0 = h_1 \frac{E_0}{E_1} \approx h_1 \frac{E_1}{E_2} = \frac{h_1^2}{h_2}.$$

2.7.3 Resultater

Resultatene fra eksperimentet kan sammenlignes med PhyPhox sin *(In)elastic collision* og målt starthøyde.

2.7.4 Diskusjon

Her kan man diskutere energibevaring og hvor bra approksimasjonen holder. Avvik fra korrekt svar kan sammenlignes for ulike høyder.

2.7.5 Forslag til oppgave

Bestem starthøyde til ball basert på tiden mellom tre sprett. For å gjøre oppgaven mer avansert kan man også undersøke hvor mye massetettheten og hardheten til objektet påvirker resultatene.

2.8 Trykk

Vanskelighetsgrad: Videregående

2.8.1 Beskrivelse

Vis at trykk er kraft over areal. Hentet fra [3].

2.8.2 Metode

Mål trykket inne i en lukket pose med mobiltelefon/Arduino og *Pressure*-funksjonen i PhyPhox. Legg en kjent masse m på et flatt plan med kjent areal A_1 som plasseres oppå posen; mål trykket. Deretter, bytt ut planet med et nytt plan med et annet areal A_2 og mål trykket igjen. Siden $P = F/A = mg/A$ vil trykkmålingene være forskjellige, bruk resultatene og vis at formelen stemmer.

2.8.3 Diskusjon

Diskuter resultatene av eksperimentet. Hva slags innvirkning har det at en ikke har tilgang på masseløse plan?

Kapittel 3

Bølgefysikk og Fluidmekanikk

I dette kapitlet tar vi for oss diverse forsøk en kan gjennomføre i sammenheng med faget Bølgefysikk og Fluidmekanikk (TFY4163) ved bruk av appen PhyPhox.

Forsøk:

[3.1 Stående bølger i rør](#)

[3.2 Doppler-Pendel](#)

3.1 Stående bølger i rør

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

3.1.1 Beskrivelse

Bestem lyd hastigheten ved bruk av rør og PhyPhox. Når lyd treffer en barriere vil lyd-bølgen bli delvis absorbert og delvis reflektert. Den reflekterte bølgen refererer vi noen ganger til som et ekko.

En kan lage stående bølger i rør som er åpne i begge ender eller hvor en ende er lukket. En åpen ende vil ha en såkalt trykk node og en longitudinal forskyvnings-antinode. En lukket ende vil derimot ha det motsatte, altså en trykk antinode og en longitudinal forskyvnings-node. Dette påvirker grensebetingelsene for de stående bølgene og bestemmer dermed hvilke naturlige frekvenser som kan oppstå.

I denne gjennomgangen har vi utelukkende benyttet rør med en lukket ende. Vi er interessert i å finne rørets laveste resonansfrekvens for å estimere lyd hastigheten. Formelen for stående bølger for rør med en åpen og en lukket ende er:

$$f_n = \frac{nv}{4L}, n = 1 \implies v = 4f_1 \cdot L, \quad (3.1)$$

hvor v er lyd hastigheten, L er lengden på røret, f_n er frekvensen for en gitt harmonisk komponent n . Ved å spille lydbølger med sakte økende frekvens inn i rørets åpne ende leter vi etter amplitudetopper som resultat av en resonansfrekvens. Ved resonanse vil den naturlige frekvensen til røret bli forsterket og det kan oppstå stående bølger.

En mer nøyaktig beskrivelse av systemet tar med en korleksjon for radiusen, R , til røret [4]. Den nye formelen blir

$$v = 4f_1(L + \Delta L), \quad (3.2)$$

hvor $\Delta L = 0.61R$.

3.1.2 Metode

Den første fremgangsmåten ble gjennomført for røret med radius 3 cm. Vi valgte å benytte *Audio Amplitude* funksjonen i PhyPhox for å lete etter resonansfrekvenser. Røret ble fylt med vann slik at en side kan ansees som lukket, dette er også praktisk med tanke på å justere lengden av røret. En mikrofon ble plassert i den lukkede enden av røret. Vi teipet mikrofonene til et par ørepropper inne i røret. Deretter spilte vi av lyd med sakte økende frekvens, en så kalt *frequency sweep* fra 20 Hz til 20 kHz, inn i røret på den åpne siden [5].

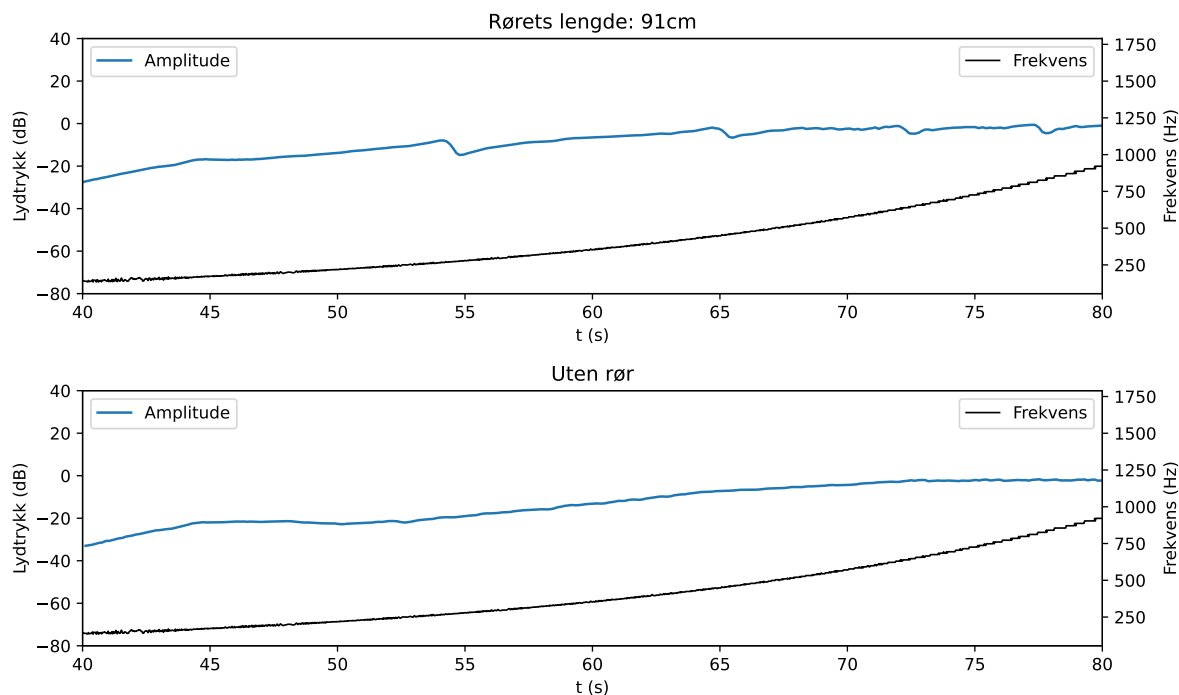
Frequency sweep og *Audio Amplitude* blir skrudd på samtidig og tiden kan dermed brukes for å relatere resonansetoppene til frekvens. Ved å finne toppene i *Audio Amplitude*-plottet og den tilsvarende frekvensen identifiserte vi resonansfrekvensen.

Røret med radius 1.1 cm ble benyttet som forklart over, unntatt at vi plasserte mikrofonen og høyttaleren i samme åpning.

For å forsikre oss om at amplitudetoppene var forårsaket av røret og ikke gjenstand av et annet fenomen gjennomførte vi også eksperimentet uten røret.

3.1.3 Resultat og diskusjon

I Figur 3.1.1 vises resultatet av eksperimentet med et lukket rør med lengde 92 cm og radius 1.1 cm og eksperimentet uten rør. Vi ser tydelig at det fremkommer amplitudetopper i grafen med rør i motsetning til grafen uten rør.



Figur 3.1.1: Målt amplitude ved økende frekvens. x-aksen viser til tiden i en sweep over frekvensene. Røret har radius 1.1 cm.

I Figur 3.1.2 vises resultatene av eksperimentet gjennomført med et rør med radius 3 cm og hvor lengden er variert, $L = 36, 25, 15$ cm.

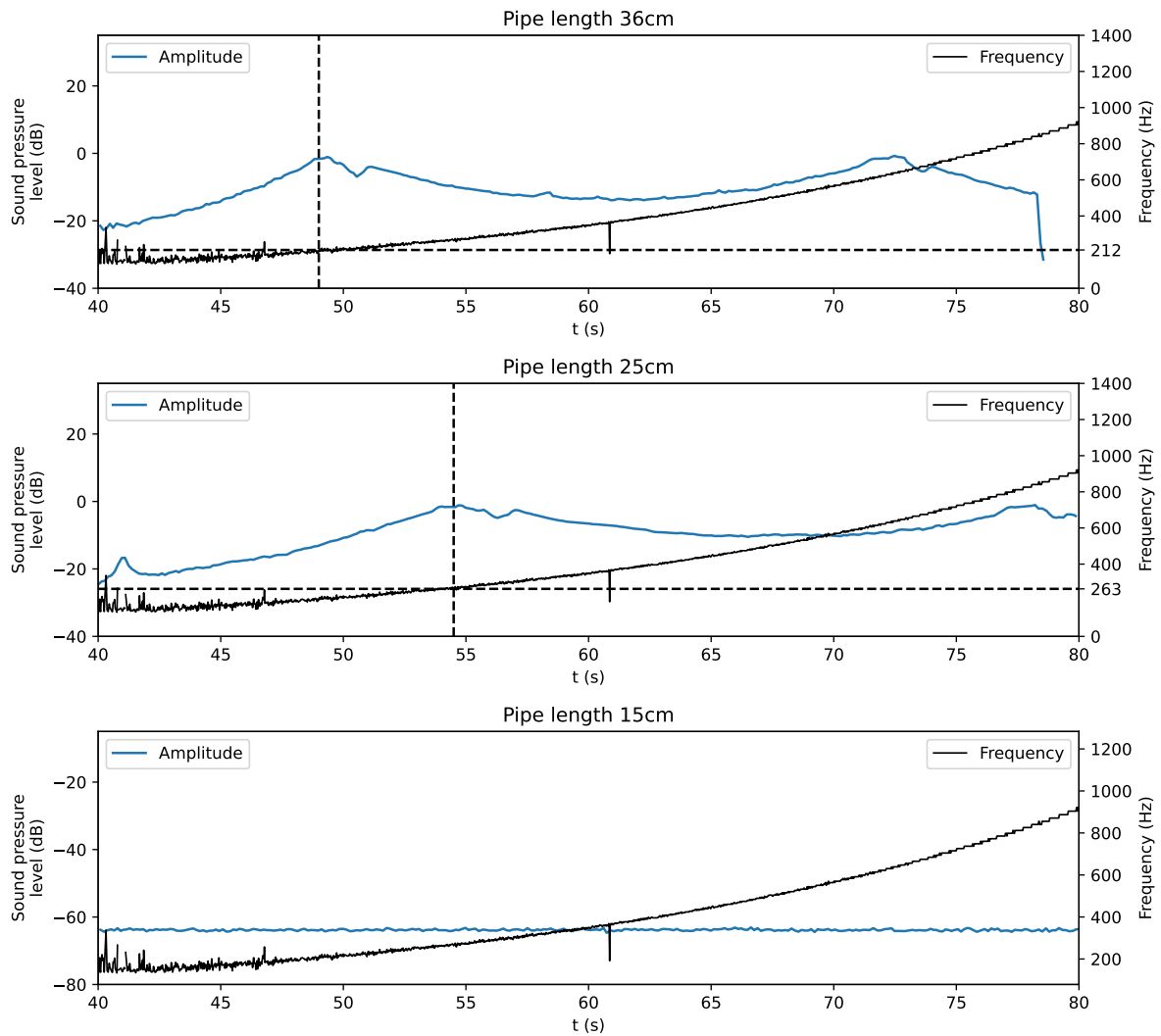
Vi erfarte at all resonanse forsvant når en minsket lengden på røret fra 25 cm til 15 cm som vist i det nederste plottet av Figur 3.1.2. Her var diameteren til røret 6 cm. Altså forholdet lengde/diameter = $25/6 = 4.17$ ok, men et forhold på $15/6 = 2.5$ for lite. Viktigheten av dette forholdet kommer også frem i form av at estimatet av lyd hastigheten. Estimatet blir bedre når forholdet L/R øker.

Denne trenden er ikke så overraskende ettersom en kan forvente nesten perfekt refleksjon hvis diameteren av røret er lite nok i forhold til bølgelengden. For å forbedre oppsette bør en altså minke radiusen R på røret eller øke lengden L , slik som vi har gjort i de neste målingene våre.

I Figur 3.1.3 vises resultatene av eksperimentet med et rør med radius 1.1 cm og varierende lengde, $L = 43, 38, 33, 28$ cm.

Ettersom resonansfrekvensene ble identifisert ble estimatet for lyd hastigheten beregnet med og uten korreksjon og resultatene er oppsummert i Tabell 3.1.1. Gitt det primitive oppsettet kommer vi relativt nært den reelle verdien. Korreksjonen for radiusen til rørene viser seg å være en forbedring av estimatet, ettersom den reelle lyd hastigheten er ca. 343 m/s.

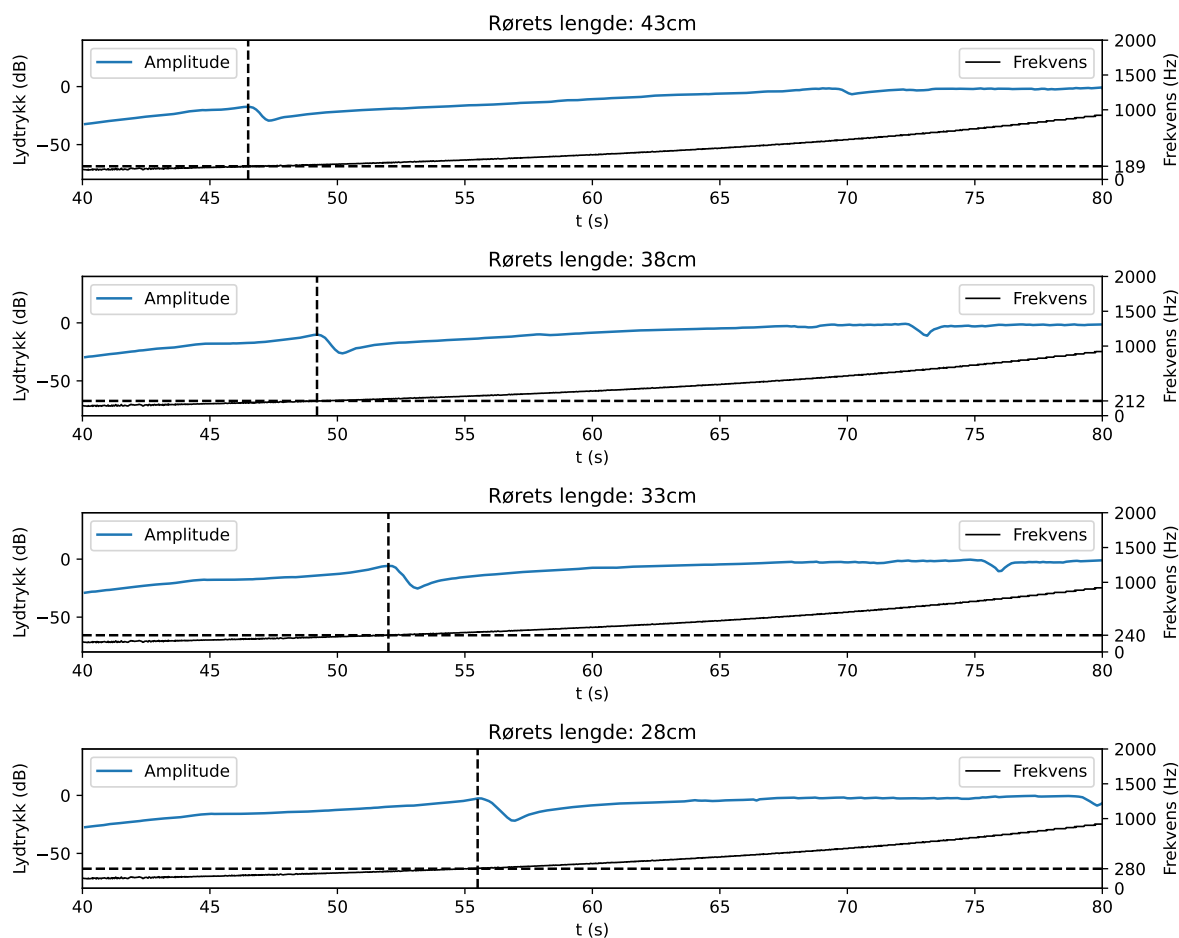
Vi benytter altså (3.1) til å estimere lyd hastigheten. Det er så klart mulig å snu på spørsmålet og estimere lengden av røret gitt resonansfrekvensen og lyd hastigheten.



Figur 3.1.2: Målt amplitude ved økende frekvens. x-aksen viser til tiden i en sweep over frekvensene. Røret har radius 3 cm.

3.1.3.1 Tekniske begrensninger

Vi benyttet funksjonen *frequency history* i PhyPhox til å kartlegge frekvensene til en ”frequency sweep” video på YouTube fra 20 Hz til 20 kHz [5]. Her fant vi at mobilen først var i stand til å spille rett frekvens ved 200 Hz. Altså setter høytaleren en begrensning på hvor langt røret kan være ettersom en kan forvente lavere resonansfrekvens ved lengre rør. Med første resonansfrekvens på 200 Hz vil en forvente at røret er omtrent 50 cm. Altså burde en med like begrensede høytalere som vi brukte bruke rør som er kortere enn 50 cm.



Figur 3.1.3: Målt amplitude ved økende frekvens. x-aksen viser til tiden i en sweep over frekvensene. Røret har radius 1.1 cm.

Lengde rør (cm)	Resonansfrekvens (Hz)	v (m/s)	v med korleksjon (m/s)
Rør med radius 1.1 cm			
43	189	325	330
38	212	322	328
33	240	317	323
28	280	314	321
Rør med radius 3 cm			
36	212	297	331
25	263	263	295
15	Ø	Ø	Ø

Tabell 3.1.1: Utregnet lydshastighet, v , med vanlig formel og korrigeret formel.

3.1.4 Forslag til oppgave

I tillegg til å estimere lyd hastigheten ut i fra dette eksperimentet kan man også finne ut hvordan frekvensen til de stående bølgene skalerer med lengden på røret. Det kan gis som en del av en åpen oppgave hvor studenten selv må finne et eksperiment for å bestemme lyd hastigheten, eller en mer spesifikk oppgave som går ut på å undersøke stående bølger i rør hvor det er mulig å undersøke flere ting enn kun lyd hastighet.

3.2 Doppler-Pendel

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

3.2.1 Beskrivelse

Estimer lengden av en pendel med dopplereffekten.

3.2.2 Metode

Her benyttes to enheter. En enhet sender ut en bestemt frekvens og spiller rollen til massen i pendelen. Den andre enheten måler frekvensen og plasseres i bunnen av banen til pendelen. Deretter kan en bruke formelen for doppler effekten til å bestemme hastigheten til pendelen gjennom svingingene og dermed finne perioden til pendelen. Et estimat for lengden følger: $\omega^2 = g/l$ hvor $l = \frac{gT^2}{4\pi^2}$, og $\omega = 2\pi/T$.

Dopplereffekten:

$$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right) f_0, \quad (3.3)$$

hvor $\Delta v = (v_{avsender} - v_{mottaker})$ og f er den målte frekvensen.

3.2.3 Resultater

Det viste seg å være vanskelig å få tilstrekkelig gode målinger av frekvensen og dermed umulig å gjennomføre forsøket slik som beskrevet over.

3.2.4 Diskusjon

Begrensningene ligger i hvorvidt en kan måle frekvensene med en slik presisjon at dataene kan tolkes. Det er mulig andre studenter har tilgang på bedre utstyr enn det vi hadde.

3.2.5 Forslag til oppgave

Studentene kan enten få oppgaven slik som formulert over. I og med at dette viste seg å være mer utfordrende enn først antatt grunnet frekvensdataene er det mulig å gi en mer åpen oppgave i relasjon doppler effekten. F.eks. kan studentene bli bedt om å sette opp et eksperiment der de bestemmer en interessant størrelse i et system som ikke bare er en som direkte inngår i dopplereffekt-formelen.

Kapittel 4

Elektrisitet og Magnetisme

I dette kapitlet tar vi for oss diverse forsøk en kan gjennomføre i sammenheng med faget Elektrisitet og Magnetisme (FY1003) ved bruk av appen PhyPhox.

Forsøk:

[4.1 Magnetfelt rundt Foucaultpendelen](#)

[4.2 Magnetfelt rundt en ledning](#)

4.1 Magnetfelt rundt Foucaultpendelen

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

4.1.1 Beskrivelse

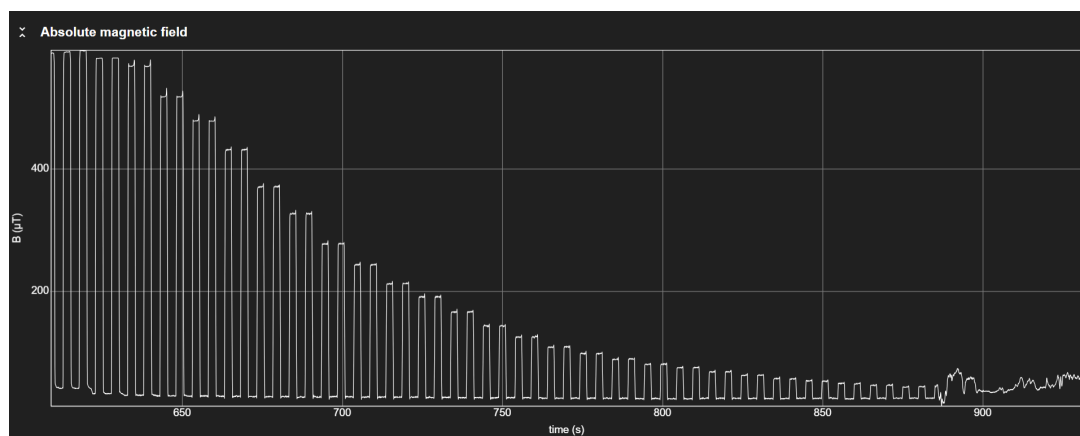
Foucaultpendelen i Realfagsbygget U3 har en elektromagnet som driver pendelen. Dette forsøket søker å kartlegge magnetfeltet rundt pendelen/elektromagneten.

4.1.2 Metode

Sett opp måling av magnetfelt (absoluttverdi) på mobil/Arduino. Start måling og mål magnetfeltet rundt pendelen ved å flytte sensoren radielt vekk fra elektromagneten. Man får dermed ulike målinger for ulike lengder og kan dermed tilpasse en funksjon til resultatene.

4.1.3 Resultater

Resulterende målinger fra magnetfeltet er vist i Figur 4.1.1. Målingene ble gjort med ca. 2 cm avstand, radielt ut fra elektromagneten, og med to perioder for hver måling.



Figur 4.1.1: Absoluttverdi av målt magnetfelt radielt ut fra elektromagnet.

4.1.4 Diskusjon

Fra resultatene kan man hente ut absolutt magnetfeltstyrke i hver avstand og tilpasse en kurve til dataene. Diskuter hvordan målingene samsvarer med hva en kan forvente fra en elektromagnet/solenoid.

4.1.5 Forslag til oppgave

For videregående nivå kan det være interessant å lage oppgaver som mer direkte går ut på å måle magnetfelt rundt f.eks. en pendel slik vi har gjort i eksperimentet vårt. Et annet mulig eksperiment er å måle indusert magnetfelt i en platetopp ved forskjellige styrker.

For et mer avansert oppsett som passer til universitetsstudenter kan man inkludere mer analyse av variasjon i data og hvor godt sensorene fungerer. Dette kan formuleres som en mer åpen oppgave slik at studentene må rettferdiggjøre resultatene de får ut i fra oppsettet de har og hvorvidt resultatene er pålitelige.

4.2 Magnetfelt rundt en ledning

Vanskelighetsgrad: Videregående

4.2.1 Beskrivelse

Mål magnetfeltet rundt en ledning med *magnetometer*-funksjonen i PhyPhox.

4.2.2 Metode

Benytt for eksempel en PC-lader og mål magnetfeltet rundt laderen. En kan variere distansen til ledningen. Ligningen som beskriver magnetfeltstyrken kan beregnes ut ifra Biot-Savarts lov, og er $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$.

4.2.3 Forslag til oppgave

Studentene kan gjøre målinger for å estimere konstanten μ_0 , en kan også snu på det og be dem estimere strømmen I . Videre kan en foreslå at studentene skal gjøre noen interessante målinger med flere ledninger, her ser vi f.eks. for oss to ledninger der strømmen går motsatt vei og en kan måle hvorvidt magnetfeltene kansellerer hverandre.

Kapittel 5

Termisk Fysikk

I dette kapitlet tar vi for oss diverse forsøk en kan gjennomføre i sammenheng med faget Termisk Fysikk (TFY4165) ved bruk av appen PhyPhox.

Forsøk:

[5.1 Kjøleskap](#)

[5.2 Elektronikk i en fryser](#)

5.1 Kjøleskap

Vanskelighetsgrad: Videregående, Universitet

5.1.1 Beskrivelse

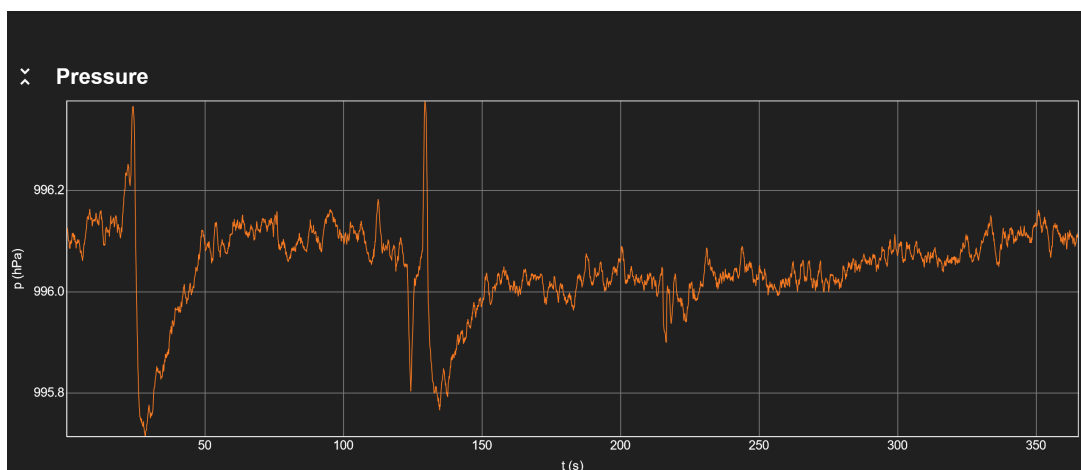
Måle trykkforskjell med mobil/Arduino inne i og utenfor kjøleskap, og undersøke fenomener som oppstår.

5.1.2 Metode

Sett opp fjerntilgang *remote access* og koble til med en PC, start målingen av trykk og legg enheten i kjøleskapet.

5.1.3 Resultater

Figure 5.1.1 viser trykkmålingen gjort ved å legge mobilen i kjøleskapet. Etter ca. 25 sekunder blir mobilen lagt inn, og vi ser en topp i trykkmålingen som kommer fra at vi lukker døren igjen. Deretter synker temperaturen raskt og trykket faller. Det vil så si luft inn i kjøleskapet og trykket gjevnes ut.



Figur 5.1.1: Målt trykk med sensor når sensoren blir lagt inn i kjøleskapet.

5.1.4 Diskusjon

Diskuter hva som er observert. Nøkkelobservasjoner: identifiser ut ifra grafen når kjøleskapsdøren ble åpnet og lukket, rettferdiggjør konklusjonene og reflekter. For eksempel kan man lage en hypotese om at man må påføre mer kraft for å åpne kjøleskapsdøren før trykket er utlignet. Dette kan testes ut med et dynamometer.

5.1.5 Forslag til oppgave

For dette systemet er det mange parametere å ta hensyn til og vel så mange ulike forsøk en kan utføre. Dermed blir dette forslaget av det generelle slaget. Studentene kan selv formulere et eksperiment de vil gjennomføre ved bruk av et kjøleskap, mobiltelefon og/eller

Arduino og evt. annet utstyr som f.eks. et dynamometer. Studentenes evne til å planlegge et eksperiment med hensyn til de mange parameterene bør vektlegges. I tillegg kan det eventuelt diskuteres hvordan resultatene kan sees i form av et bærekraft-perspektiv.

5.2 Elektronikk i en fryser

Vanskelighetsgrad: Videregående

5.2.1 Beskrivelse

Mål trykk inne i en flaske som inneholder elektronikk og plassert i en fryser.

5.2.2 Metode

Bruk PhyPhox funksjonen *Pressure* og legg arduinobrettet i en termoflaske som plasseres i fryseren.

5.2.3 Resultater

Trykket steg umiddelbart og over en lengre periode. Dette er grunnet elektronikken inne i flasken som produserer varme, mens den lave temperaturen i fryseren er isolert fra måleinstrumentene.

5.2.4 Diskusjon

Diskuter resultatene: hvorfor stiger trykket? Hva skjer etter langtid? Utlignes trykket, fortsetter det å stige men saktere eller vil det begynne å synke? Studentene kan også bestemme temperaturendringen ut ifra trykkmålingene.

5.2.5 Forslag til oppgave

Studentene kan formulere en hypotese angående hvordan trykket vil endre seg. Deretter kan resultatet diskuteres og det bør argumenteres for hvorfor resultatene er som de er. Videre kan studentene bruke dataene til å estimere andre størrelser slik som temperatur- endring. Forsøket kan også gjennomføres med en beholder som ikke er isolerende og/eller et kjøleskap kan benyttes i stedet for en fryser. Hvordan vil målingene endre seg nå?

Referanser

- [1] Sebastian J. Spicker. *Wie können (astronomische) Experimente mit einem Arduino und einem Smartphone durchgeführt werden?* Accessed 15.02.24. Aug. 2023. URL: <https://astro-lab.app/arduino-und-phyphox/>.
- [2] PhyPhox. *Inelastic Collision*. Accessed 14.03.24. Mar. 2024. URL: <https://phyphox.org/experiment/inelastic-collision/>.
- [3] PhyPhox. *Pressure in a bag*. Accessed 04.04.24. Apr. 2024. URL: <https://phyphox.org/experiment/pressure-in-a-bag/>.
- [4] Lutz Kasper og Patrik Vogt. “Corkscrewing and speed of sound: A surprisingly simple experiment”. I: *The Physics Teacher* 58.4 (apr. 2020), s. 278–279. ISSN: 0031-921X. DOI: 10.1119/1.5145480. eprint: https://pubs.aip.org/aapt/pte/article-pdf/58/4/278/9872015/278_1_online.pdf. URL: <https://doi.org/10.1119/1.5145480>.
- [5] adminofthissite. *Frequency sweep video*. Accessed 29.02.24. Feb. 2024. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qNf9nzvnd1k&t=65s>.