

bedre er det om du også gir den koden du har jobbet med (**kontekst**).

- Veldig ofte dukker det opp snodige effekter i programmering som kan ha ulike årsaker. For eksempel kan det hende at du har valgt et tidssteg som er for stort, slik at numeriske feil fører til at energien i systemet øker og øker (dette er tilfelle i Figur 9), eller så har du kanskje valgt en dårlig egnet ingreringsmetode. Fortell språkmodellen om disse effektene! (**avgrens** dens oppmerksomhet) Ofte er det et helt vanlig problem, og språkmodellen vil kunne gi en god forklaring på hvorfor det har oppstått.

Aktivitet: Utforskning med programmering

Differensiering er nøkkelen i programmeringsoppgaver. La studentene få utforske et fysisk fenomen ved hjelp av programmering og si at det de har funnet ut skal presenteres foran klassen, eller leveres som en google colab notebook. Det er ikke åpenbart hva det vil si å utforske et fysisk fenomen ved hjelp av programmering, men et startpunkt kan være å se på en samling av såkalte «Computational essays» (CCSE, 2024). Gi elevene flere muligheter:

- Lag en simulering av dobbel pendel i python (ha et fungerende minimalt eksempel i bakhånd dersom noen elever ikke kommer i gang). Finn et spørsmål du lurer på om pendelbevegelsen (f.eks. når blikker bevegelsen over til å bli «kaotisk») og lag en presentasjon hvor du setter sammen det du har funnet.
- Simuler et kast med luftmotstand! Finn et interessant spørsmål og lag en presentasjon på hva du har funnet.
- Finn ditt eget fysiske system og spørsmål. Lag en presentasjon på hva du har funnet.

Konklusjon

I denne artikkelen har vi forklart hva språkmodeller faktisk gjør og tatt frem noen metoder for hvordan man kan bruke dem effektivt i undervisningen. Språkmodellene åpner også opp for nye

måter å lære ting på. Ved å integrere språkmodeller i undervisningen på en god måte, kan man fostre bedre forståelse av fysikk, men også forbedre problemløsning gjennom å bruke den til å bryte opp komplekse problemstillinger i mindre biter.

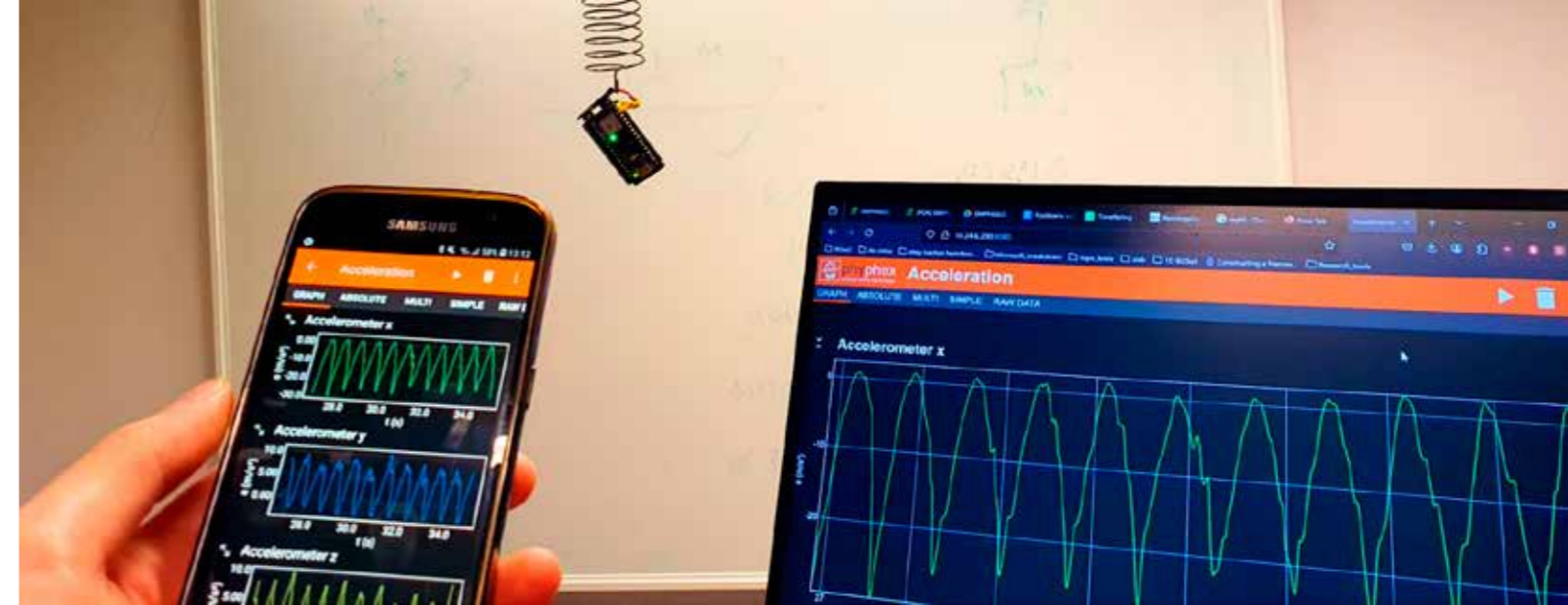
Selv om vi har forsøkt å sette fingeren på noen av disse punktene, gjennom huskereglene for effektive ledetekster (kafé-ro) og forslag til aktiviteter, så er det fortsatt mange åpne spørsmål om hva nøyaktig som betegner god bruk av språkmodeller? Hva kjennetegner mestring i bruk av språkmodeller? Hvordan beskriver vi lav, middels og høy måloppnåelse?

Begrensningene er selvfølgelig viktige å ha med seg. Siden språkmodellene kun navigerer på en høydimensjonal sjø av meninger, hender det også at den «hallusinerer» og hoster opp referanser som ikke finnes. I tillegg er det mange problemstillinger knyttet til lagring av data og hvorvidt vi som samfunn skal gjøre oss avhengige av kommersielle selskaper for å drive med utdanning (mer enn vi allerede gjør, iallefall).

Feltet er nytt, og mange av disse aktivitetene er uprøvde. Dersom du prøver noen av disse aktivitetene vil vi gjerne høre fra deg! ■

Kilder

- CCSE. (2024). *Computational Essays from the University of Oslo*. <https://uio-ccse.github.io/computational-essay-showroom/intro.html>
- Google. (2024). *Google Colaboratory*. <https://colab.research.google.com/>
- Guo, Y., Yao, H., Ramanjanappa, S., Dhar, S., Horvath, M., Pizzino, L., Giamarchi, T., Landini, M., & Nägerl, H.-C. (2024). «Observation of the 2D–1D crossover in strongly interacting ultracold bosons». *Nature Physics*, 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41567-024-02459-3>
- Nave, C.R. (2017). *HyperPhysics*. HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>
- Odden, T.O. (2021). «What Does It Mean to 'Make Sense' of Physics?» *The Physics Teacher*, 59(8), 596–598. <https://doi.org/10.1119/5.0024095>



Lomme-lab i fysikk Eksempler på eksperimenter

Martin Steinholt Bygdås og Sami Laubo masterstudenter, Institutt for fysikk, NTNU

Som en oppfølger til Rolf Jonas Perssons artikkel [1] om hvordan mobiltelefoner kan benyttes som «middel for å berike undervisningen i fysikk» har vi tatt fatt på utfordringen og gjennomført flere konkrete eksperimenter. I denne artikkelen presenterer vi tre av dem.

Bakgrunn

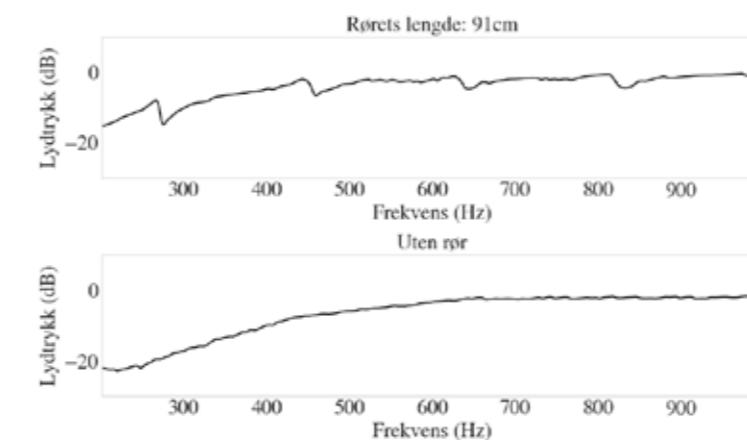
EMPHASIS er et prosjekt ved Institutt for fysikk ved NTNU som går ut på å skape nye og moderne fysikk-eksperimenter ved bruk av sensorer i en mobiltelefon. Målet med prosjektet er å modernisere laboratorieøvelser i fysikk og gjøre interessante forsøk mer tilgjengelig i høyere grads undervisning. Mange av eksperimentene kan også være relevante for videregående nivå, og vi håper gjennom denne artikkelen å sette lys på hvordan enkle oppsett kan belyse spennende og relativt komplekse fenomener i fysikken. Den enkle naturen til disse eksperimentene kan gi en

mer intuitiv forståelse av fysikk sammenlignet med mer tradisjonelle, komplekse oppsett.

I sammenheng med dette prosjektet har vi utarbeidet en rekke forslag til fysikkforsøk relevant for både elever i videregående skole og studenter på høyere utdanning.

Oppsett

Mobiltelefoner inneholder mange interne sensorer som kan hente inn fysiske data om blant annet lyd, akselerasjon og magnetfelt. I tillegg kan man bruke et Arduino-brett som er en liten brikke på 2 × 5 cm med sensorer og Bluetooth, og kan hente inn enda mer data om f.eks. trykk og temperatur. For å samle inn data og samkjøre ulike enheter har vi brukt programmet phyphox [2]. Dette er en mobil-app som kan lese sensordata fra mobiltelefonen og koble til både PC og Arduino-brett. På denne måten kan man legge et måleinstrument (mobiltelefon eller



Figur 1. Målt lydtrykk (desibel) for avspilt frekvens (Hertz). Røret har radius 1,1 cm.

Lomme-lab i fysikk: Eksempler på eksperimenter



Figur 2. Figuren viser de to lengste stående bølger som kan oppstå i et rør med en lukket og en åpen ende. De røde linjene viser trykkprofilen i røret for første (øverste rør) og tredje (nederste rør) harmoniske komponent. Andre harmoniske komponent finnes ikke i halvåpne rør.

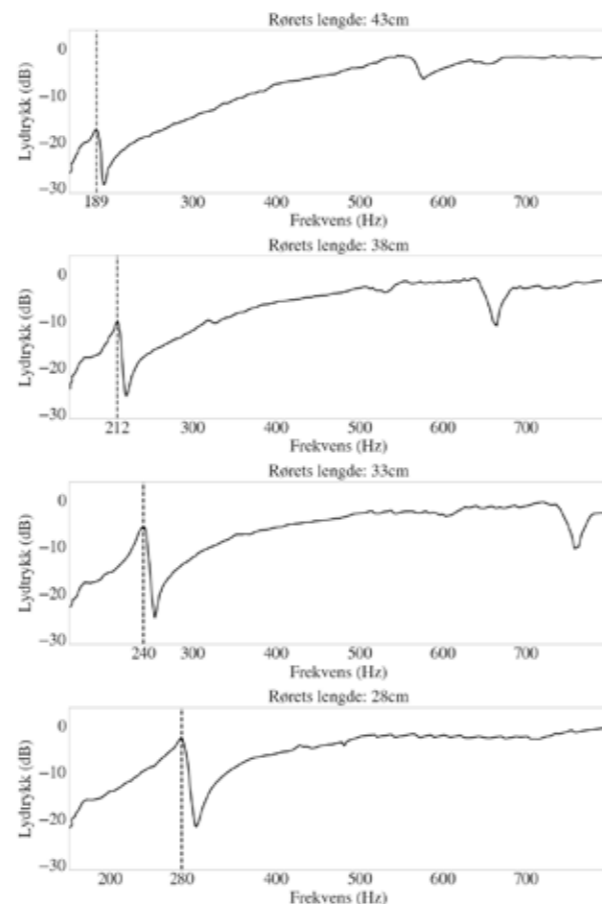
Arduino-brett) en plass man vil gjøre målinger og styre innhenting trådløst fra en PC. Forsidebildet til artikkelen viser et eksempel på et oppsett med phyphox på en mobiltelefon som er koblet til et Arduino-brett som henger i en fjær. Arduino-brettet sender data fra sitt interne akselerometer til mobiltelefonen, som i tillegg enkelt kan vises på en PC.

Ekspertiment: Stående bølger i rør

I et rør med én lukket ende oppstår et spennende fysisk fenomen, nemlig resonans. Når man spiller av visse frekvenser i dette røret vil amplituden øke som følge av resonans når bølgelengden samsvarer med lengden til røret. I dette eksperimentet bruker vi dette konseptet til å bestemme lyd hastigheten med et rør og to mobiltelefoner.

Først vil vi undersøke resonansfenomenet i et 91 cm langt rør med radius 1,1 cm. For å finne resonansfrekvensene til røret spiller vi gradvis økende frekvenser inn i åpningen på røret og lytter i samme åpning med *Audio Amplitude*-funksjonen i phyphox. Denne funksjonen tar enkelt og greit opp hvor høy lyden er (lydtrykk i desibel), og ved resonansfrekvenser forventer vi dermed å se topper. Figur 1 viser resultatet når vi spiller av frekvensene med og uten et rør. Først kan vi notere at vi får negative lydtrykk som ved første øyekast kan høres rart ut, men siden desibel er en logaritmisk skala hvor nullnivået er kalibrert i phyphox vil det bare si at vi får relativt lav lyd i forhold til vårt utgangspunkt. Figuren viser at uten et rør får vi en kontinuerlig gradvis økning i lydtrykket for økende frekvenser. Vi ser derimot at lydtrykket får noen topper når vi spiller av lyden inn i røret. Dette er vår bekreftelse på at fenomenet oppstår.

For et rør med en lukket og en åpen ende vil det oppstå resonans når en fjerdedel av en bølgelengde er lik rørets lengde. Denne lyd bølgen kan beskrives av formelen $f = v/4L$, som betyr at frekvensen er lik lyd hastigheten over fire ganger lengden til røret. Et rør kan ha flere bølger som samsvarer med rørets lengde ettersom bølgelengden halveres, slik vi kan



Figur 3. Målt lydtrykk (desibel) for avspilt frekvens (Hertz). Røret har radius 1,1 cm.

se i Figur 2 for de to første mulige bølgelengdene. Dette kalles harmoniske komponenter og har formelen $f_n = nv/4L$. Finner vi den laveste harmoniske komponenten $n = 1$ (øverst i Figur 2) kan vi altså estimere lyd hastigheten ved å identifisere rørets laveste resonansfrekvens, $v = f_1 \cdot 4L$.

Vi gjennomførte eksperimentet på nytt for fire ulike lengder av røret og fikk resultatene presentert i Figur 3. De vertikale stiplede linjene markerer den første resonansstoppen. Grunnfrekvensen (første harmoniske komponent) til rørene brukes deretter videre til å finne lyd hastigheten og de estimerte verdiene er presentert i Tabell 1. Et supplerende eksperiment med et rør av radius 3 cm er også presentert i tabellen.

Lydens hastighet er omtrent 340 m/s i luft, og våre resultater kommer altså relativt nært gitt det primitive oppsettet. Observer at estimatet for lyd hastigheten blir dårligere og dårligere når forholdet mellom rørets lengde og radius minker. For et 15 cm langt rør med radius 3 cm kunne vi ikke lenger observere noen resonansstopper. For et enda mer nøyaktig resultat kan en ta i betraktning en ende-korreksjon og dermed benytte formelen $v = 4f_1(L + 0,6133R)$, hvor R er radien til røret [3]. Ende-korreksjonen stammer helt tilbake til 1877 da Rayleigh eksperimentelt approksimerte verdien

Tabell 1. Eksperimentell data og estimert lyd hastighet, v , med vanlig og korrigert formel.

Lengde rør (cm)	Resonansfrekvens (Hz)	v (m/s)	v med korreksjon (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

til å være 0.6. Senere ble den eksakte verdien til ende-korreksjonen presentert av Levine og Schwinger i 1947 [4] til å være 0,6133. I Tabell 1 ser vi at den korrigerte formelen gir estimater som er enda nærmere den reelle verdien.

Ved å bruke et interessant fysikkfenomen har vi dermed klart å bestemme lyd hastigheten i luft til en relativt grei presisjon gitt vårt enkle oppsett. Dette eksperimentet er et godt eksempel på at spennende fysikkfenomener kan undersøkes med utstyr som de fleste har tilgang på.

Ekspertiment: Skråplan

Ideen her er å benytte et objekt vi kaller «rullen» til å estimere vinkelen til et skråplan. Rullen er en hul sylinder med en mobiltelefon festet i hulrommet. Vi lar rullen rulle ned skråplanet og bruker treghetsmoment og den målte akselerasjonen til å estimere planets helning. En enkel skisse av oppsettet er illustrert i Figur 4.

Vi benytter *Roll*-funksjonen i phyphox til å estimere akselerasjonen til rullen, a , i det den beveger seg nedover planet. Vi får direkte ut en hastighetsgraf i phyphox som er presentert i Figur 5. I tillegg må en ta stilling til dreiemomentet, noe som er litt komplisert grunnet massefordelingen til rullen. Vi forsøker oss derfor med flere ulike estimater av treghetsmomentet. I Boks 1 er en kort utledning av formlene for planets vinkel θ .

Resultatet av målingen i phyphox vises i Figur 5. Her gjorde vi et enkelt estimat av akselerasjonen til rullen, a , basert på grafen. For de ulike estimatene av treghetsmomentet til rullen beregnes planets helning og resultatene er oppsummert i Tabell 2.

Resultatene, som er oppsummert i Tabell 2 viser at *sylinder og hul sylinder med måleinstrument* gir best overenstemmelse med den faktiske vinkelen. *Sylinder* gir faktisk et litt bedre estimat, $\theta = 4,38^\circ$, enn *hul sylinder med måleinstrument*, $\theta = 4,43^\circ$, til tross for at treghetsmomentet til sist nevnte samsvarer bedre med det faktiske oppsettet.

Selv om hastighetsgrafen er en relativt simpel funksjon, gir det gjerne en bedre intuisjon av fysikken å se målinger direkte fra objektene man studerer.

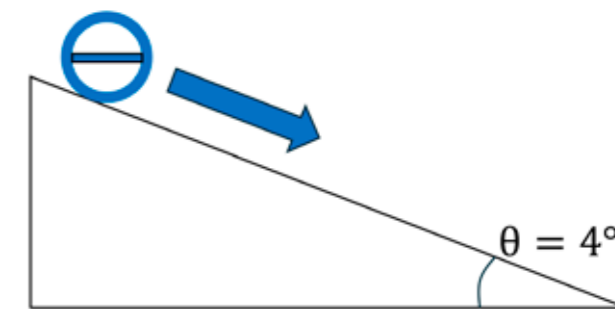
Phyphox har også andre sensorer for akselerasjon og gyroskopisk data (rotasjon) som kan være interessant å undersøke i sammenheng med dette forsøket.

Til slutt nevner vi at det er gode muligheter for å snu på problemstillingen i denne oppgaven. For eksempel kunne en forsøkt å estimere treghetsmomentet til rullen basert på akselerasjon og helning.

Ekspertiment: Kjølleskap

Dette eksperimentet går ut på å måle hvordan trykket endrer seg fra utenfor til inne i et kjøleskap og å tolke resultatene kvalitativt. Vi opprettet en kobling mellom PC'en og Arduino-brettet med *Remote Access* i phyphox og startet målingen av trykket med funksjonen *Pressure*. Deretter plasserte vi Arduino-brettet i kjøleskapet og lukket igjen døren. Etter omtrent 125 s åpnet vi døren igjen og tok ut brettet.

Trykkmålingene, vist i Figur 6, viser både umiddelbare og gradvise trykkendringer. En umiddelbar trykkøkning kan sees i sammenheng med at kjøleskapet lukkes eller åpnes, og en gradvis trykkendring kan forstås som en sakte utligning av trykket. Ved omtrent 25 s blir brettet plassert inn i kjøleskapet og døren lukkes igjen. Her observerer vi en umiddelbar trykkøkning i det luften komprimeres når



Figur 4. Skjematisk fremstilling av oppsettet.

Boks 1. Utleddning av bevegelsesligningen til en todelt sylinder som ruller ned et skråplan

Vi betrakter en to-delt sylinder der den ytre delen består av et sylinderskall med indre radius r , ytre radius R og masse M . Den indre delen kan være tom eller bestå av en massiv sylinder med masse m og radius r eller et legeme (en telefon) med treghetsmoment I_T . Her utledes formelen i Tabell 2 for en sylinder med to tettheter – en indre sylinder og et sylinderskall.

Friksjon fra underlaget virker på rullen med en friksjonskraft

$$F_f = \mu(m + M)g \cos\theta, \quad (1)$$

hvor m er massen til den indre delen av rullen med radius r , og M til sylinderskallet med indre radius r og ytre radius R . Videre er g tyngdens akselerasjon og μ friksjonskoeffisienten. Dreiemomentet er

$$\tau = F_f R. \quad (2)$$

Sylindersens bevegelseslikning (Newton's 2. lov for rotasjonsbevegelse) er

$$\tau = I\alpha, \quad (3)$$

hvor I er treghetsmomentet til hele rullen med innhold, $\alpha = a/R$ er vinkelakselerasjonen, og a er massesentrets akselerasjon. Likningene (1), (2) og (3) gir

$$Ia = (m + M)R^2\mu g \cos\theta. \quad (4)$$

Til slutt benytter vi Newtons andre lov,

$$\Sigma F = (m + M)a, \quad (5)$$

dekomponerer kreftene og finner

$$g \sin\theta - \mu g \cos\theta = a. \quad (6)$$

Likningene (4) og (6) gir

$$g \sin\theta - \frac{Ia}{(m + M)R^2} = a. \quad (7)$$

Ved å løse denne likningen med hensyn på θ fås

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{a}{g} \left[1 + \frac{I}{(m + M)R^2} \right] \right\}. \quad (8)$$

Treghetsmomentet til den todelte rullen er summen av treghetsmomentet til en massiv sylinder med masse m og radius r og et sylinderskall med indre radius r , ytre radius R og masse M [5],

$$I = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{2}M(r^2 + R^2) = \frac{1}{2}(m + M)r^2 + \frac{1}{2}MR^2. \quad (9)$$

Innsetting av (9) i (8) gir

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{a}{g} \left[1 + \frac{1}{2} \frac{M}{(m + M)} \frac{r^2}{R^2} \right] \right\}. \quad (10)$$

Dette er formelen i andre linje av Tabell 2. En massiv homogen sylinder svarer til å la den indre massen og radien gå mot null, $m \rightarrow 0$ og $r \rightarrow 0$. Det gir

$$\theta = \sin^{-1} \frac{3a}{2g}, \quad (11)$$

som er formelen på den første linjen i Tabell 2. For et sylinderskall med tomrom innenfor skallet settes $m = 0$ som gir

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{a}{2g} \left[3 + \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \right\}, \quad (12)$$

som er formelen i den tredje linjen i Tabell 2.

En mobiltelefon kan tilnærmes som en rektangulær plate. Dens treghetsmoment om en akse gjennom sentrum er [5]

$$I_T = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2), \quad (13)$$

der a er lengden og b bredden. Lengden er $a = 2r$. Da blir det totale treghetsmomentet til telefonen og sylinderskallet

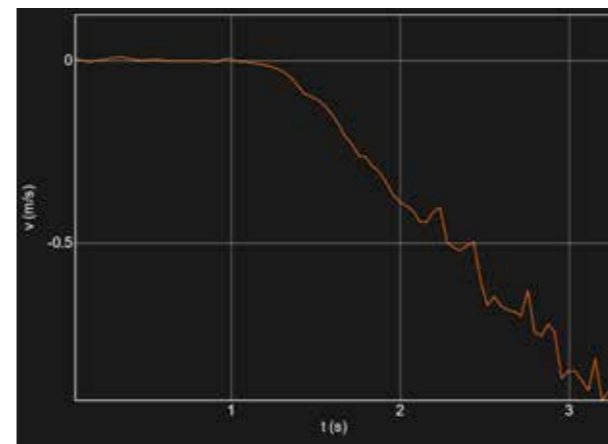
$$I = I_T + I_S = \frac{1}{3}mr^2 + \frac{1}{12}b^2 + \frac{1}{2}M(r^2 + R^2). \quad (14)$$

Innsetting i ligning (8) gir

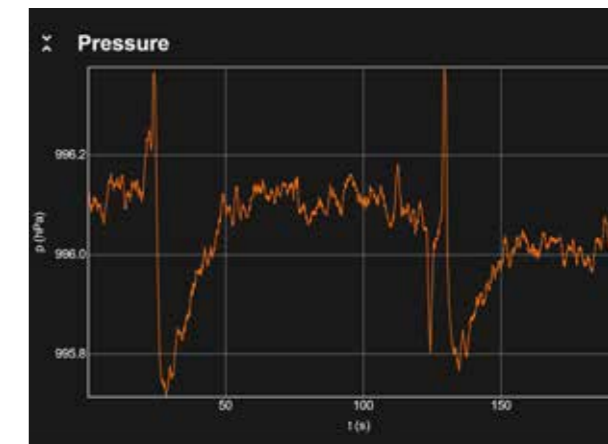
$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{a}{g} \left[1 + \frac{I}{(m + M)R^2} \right] \right\}, \quad (15)$$

$$Q = \left(\frac{M}{2} + \frac{m}{3} \right) \frac{r^2}{R^2} + \frac{m}{12} \frac{b^2}{R^2} + \frac{M}{2}. \quad (16)$$

Ved å sette $b = 0$, det vil si ved å oppfatte telefonen som en stang med lengde $2r$, fås formelen i den fjerde linjen i Tabell 2.



Figur 5. Hastighetsprofilen til rullen målt med phyphox-funksjonen Roll.



Figur 6. Trykkmålinger gjort med phyphox-funksjonen Pressure av et Arduino-brett lagt inn og tatt ut av et kjøleskap.

døren lukkes, etterfulgt av et brått fall i trykk som skyldes nedkjøling av den varme luften som kom inn når døren var åpen. Deretter observerer vi en sakte økning av trykket som kan forklares ved at forseglingen til døren ikke er fullstendig tett. Luft siger dermed inn i kjøleskapet og utjevner trykket. En har kanskje opplevd at kjøleskapsdøren er vanskeligere å åpne umiddelbart etter at den er lukket, og dette forklares av undertrykket vi ser her. En ny kraftig trykkendring følger etter omtrent 125 s.

Denne gangen blir det en kraftig reduksjon i trykket som kan sees i sammenheng med en ekspansjon av luften inne i kjøleskapet i det døren åpnes.

Den brå økningen i trykket som følger kan være forårsaket av en tilstrømning av luft i det døren blir åpnet. Hva som er årsaken til det påfølgende fallet i trykk er noe usikkert, men at den tilstrømmende luften raskt kjøles ned er en mulighet. Til slutt ser vi en gradvis økning i trykket fra omtrent 130 s til 150 s som kan sees i sammenheng med den varmere luften utenfor kjøleskapet.

Erfaringer

Mobiltelefonen har visse begrensninger som ikke er umiddelbart åpenbare når en benytter phyphox. For eksempel erfarte vi i sammenheng med **Stående bølger i rør** at høyttaleren til mobiltelefonene var

begrenset i den lavere delen av frekvensregisteret. Vi fant at en frekvens *sweep* fra 20 Hz til 20 kHz først produserte rett frekvens ved 200 Hz. Dette la en begrensning på hvor lange rør vi kunne benytte i forsøket.

Med gode eksperimenter er det mye læring i alt som ikke har med resultatet å gjøre. Når vi i tillegg erfarer at en kan få tolkbare og relativt gode resultater til tross for det enkle oppsettet, gir det oss tro på at slike løsninger kan være en viktig bidragsyter i elevens og studenters tilegning av fysikken. ■

Referanser

- [1] R.J. Persson. «Lomme-lab i fysikk - Smarttelefoner i fysikkundervisning.» *Fra Fysikkens Verden*, 1 (2024), s. 28–31.
- [2] R.A. University. [Internett]. Available: <https://phyphox.org/>. [Funnet 11 04 2024].
- [3] L. Kasper og P. Vogt. «Corkscrewing and speed of sound: A surprisingly simple experiment.» *The Physics Teacher*, vol. 58.4 (2020), s. 278–279.
- [4] H. Levine og J. Schwinger. «On the Radiation of Sound from an Unflanged Circular Pipe.» *Physical Review* vol. 73, nr. 4 (1948), s. 383–406.
- [5] J.R. Lien og G. Løvøyden. *Generell fysikk*. Bind 1 mekanikk. Universitetsforlaget (2001).

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

Tabell 2. Planets estimerte vinkel basert på forskjellige antagelser om treghetsmomentet til rullen. Her er r indre radius, R ytre radius og M massen til rullen og m er mobiltelefonens masse. Kolonne 3 viser estimert vinkel basert på formelen i kolonne 2.