

Opgaver i fysik – lyd og lys – bølger

Indhold

B1	Lyd og lys på Månen og Mars.....	2
B2	Fart af bølgepuls.....	2
B3	Lydens fart i luftarter	3
B4	Ekkolod	3
B5	Hurtige biler og fly.....	4
B6	Hvalers kommunikation.....	4
B7	Vandbølger.....	5
B8	Harmonisk svingning – amplitude og periode	5
B9	Matematisk beskrivelse af harmonisk bølges bevægelse.....	6
B10	Tsunamibølger.....	7
B11	Kammertonen A	8
B12	Lydintensitet og decibelskala.....	8
B13	Doppler-effekt - formler	9
B14	Dopplereffekt – vild kørsel.....	10
B15	Dopplereffekt – stjerne.....	10
B16	Stående bølger på snor	10
B17	Halvåbent resonansrør med variabel længde – lydens fart i luft.....	11
B18	Resonansrør – øregang, hørelse	12
B19	Optisk gitter og laserlys	12
B20	Sporafstand på cd, dvd og blue ray disk	12
B21	Synligt lys – bølglængder og frekvenser	14
B22	Superpositionsprincip og interferens - stødtoner	14
B23	Lysets fart.....	16
B24	Superpositionsprincippet – konstruktiv og destruktiv interferens	17
B25	Aktiv støjdemning – destruktiv interferens	18

B1 Lyd og lys på Månen og Mars

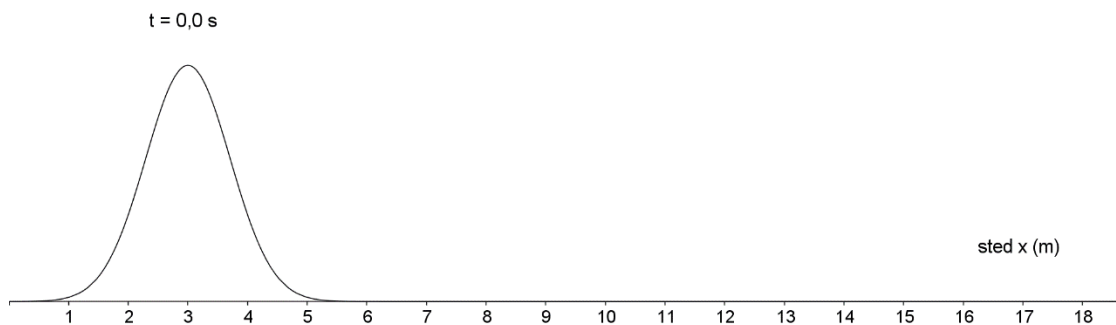
Vi forestiller os i denne opgave, at du er landet på Månen og vil fejre nytår.

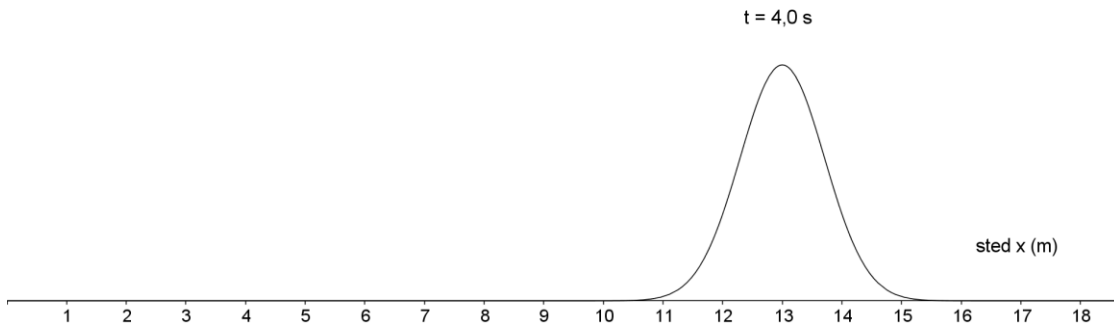
- Jordens måne har ingen atmosfære. Vil det sige, at du ikke kan høre når et kanonslag fyres af på Månen? Stiger røgen til vejrs?
- Kan glimtet fra eksplosionen ses?
- Har Mars en atmosfære? Kan man høre lyde på Mars? Findes der lydoptagelser?

B2 Fart af bølgepuls

Nedenfor ses to øjebliksbilleder af en puls på en snor. Tidspunkterne for de to billeder er angivet på figurene.

- Bestem pulsens fart





B3 Lydens fart i luftarter

Formlen til beregning af lydens fart v i luftarter er

$$v = \sqrt{\frac{c_p \cdot k \cdot T}{c_v \cdot m}} \quad \text{lydens fart i luftart}$$

Her er c_p luftartens varmekapacitet ved konstant tryk, og c_v er luftartens varmekapacitet ved konstant rumfang. T er den absolutte temperatur, og m er molekylernes gennemsnitlige molekylmasse. Endelig er k Boltzmanns konstant.

For to-atomige gasser som N_2 eller O_2 er $\frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5}$, og for en-atomige gasser som He, Ne er $\frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3}$

- Beregn lydens fart i tør atmosfærisk luft ved 20°C , idet det oplyses, at middelmolekylmassen er $29,0 \text{ u}$
- Beregn lydens fart i helium ved 20°C

Når et menneske taler, er bølgelængden af de frembragte lyde bestemt af størrelsesforholdene i strubehovedet.

- Kan du forklare, at man med helium i lungerne taler med en høj, pibende stemme?

B4 Ekkolod

Lydens fart i vand er omkring 1490 m/s . Fra et skib sendes et ekkolod-signal mod bunden, og signalet kommer retur efter $0,51$ sekunder. Hvor dybt er der på skibets position?

B5 Hurtige biler og fly

Det er lykkedes at få en bil til at køre hurtigere end lyden. Lydens fart i luft er 343 m/s ved 20 °C.

- a) Hvad står der på speedometeret (enhed: km/h) når bilen når lydens fart?

I et fransk-britiske samarbejdsprojekt byggedes 20 Concorde overlydspassagerfly, der kunne flyve med op til 2,02 gange lydens fart. I de højder hvor flyet fløj (op til 18 km), er lydens fart 294 m/s.

- b) Hvad er flyets fart i enheden km/h?
c) Hvor lang tid varede turen fra Paris til New York (5850 km)?



Concorden - et overlydspassagerfly (<http://en.wikipedia.org/wiki/Concorde>)

B6 Hvalers kommunikation

Lydens fart i vand er omkring 1490 m/s. Blåhvaler kan kommunikere ved frekvenser helt ned til 14 Hz.

- a) Beregn bølgelængden af lyde fra en blåhval, der kommunikerer ved 14 Hz

På grund af menneskabt støj i havet kan blåhvaler kun kommunikere over afstande på omkring 160 km, hvor det tidligere var cirka 10 gange længere.

- b) Hvor lang tid går der mellem afsendelsen af lyd fra en hval til modtagelsen hos en anden hval i afstanden 160 km?

(kilde: <http://natgeotv.com/za/blue-whale/feature-articles>)

B7 Vandbølger

Når vandbølger bevæger sig mod stranden, kan det være store vandmængder, der er i bevægelse. Hvorfor bliver stranden ikke hurtigt oversvømmet af alt det vand?

B8 Harmonisk svingning – amplitude og periode

En harmonisk svingning kan tilnærmelsesvis opnås ved at hænge et lod op i en fjeder, ophængt i et stativ på et bord, og lade loddet foretage lodrette svingninger. Herved vil loddets højde over bordet variere som en sinusfunktion:

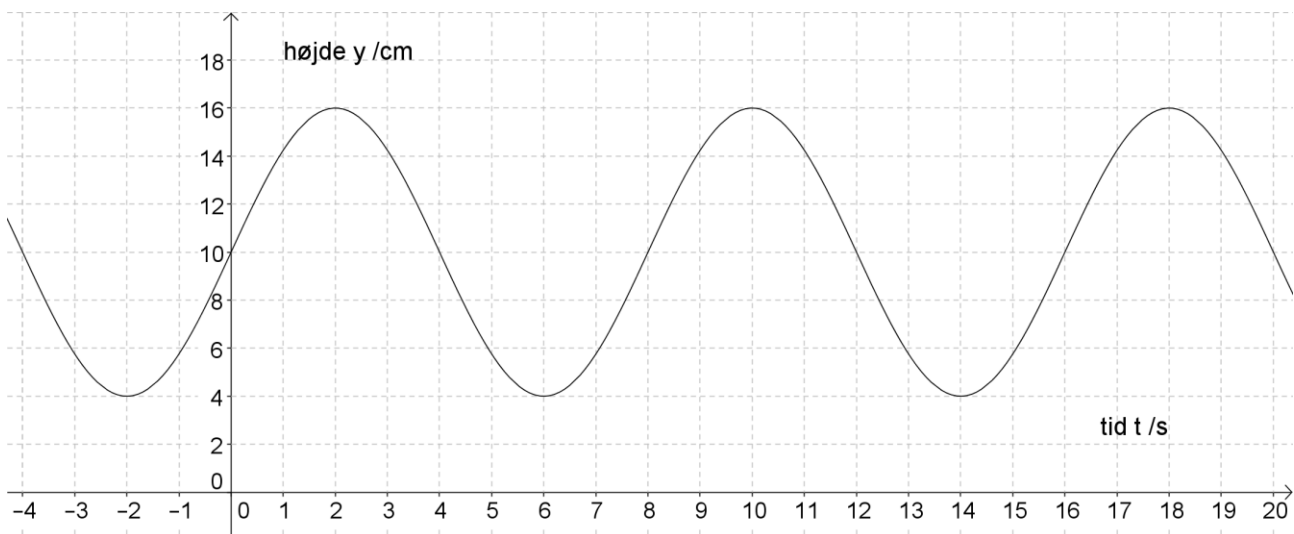
$$y(t) = y_0 + A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

Harmonisk svingning

Her er y_0 loddets højde over bordet når det hænger i hvile, A er svingningens amplitude – som er det største udsving i forhold til hvilehøjden y_0 . Den tid, en fuld svingning varer (fx tiden der går fra max højde til næste max højde), er betegnet med T og kaldes svingningens periode. Den variable t er tiden.

Hvis du selv vil tegne funktionen, skal du huske, at tegneprogrammet skal regne vinkler i radianter og ikke grader. Hvis du foretrækker grader, skal du skifte 2π ud med 360 (grader) i formlen ovenfor.

Et eksempel ses på figuren herunder.



Benyt figuren ovenfor til at besvare følgende spørgsmål:

- a) Aflæs hvilehøjden y_0
- b) Aflæst svingningens amplitude A
- c) Aflæs svingningens periode T
- d) Lav en harmonisk svingning med en fjeder og et lod, og mål hvilehøjde, amplitude og periode for denne svingning. Prøv at ændre loddets masse og gentag målingerne.

B9 Matematisk beskrivelse af harmonisk bølges bevægelse

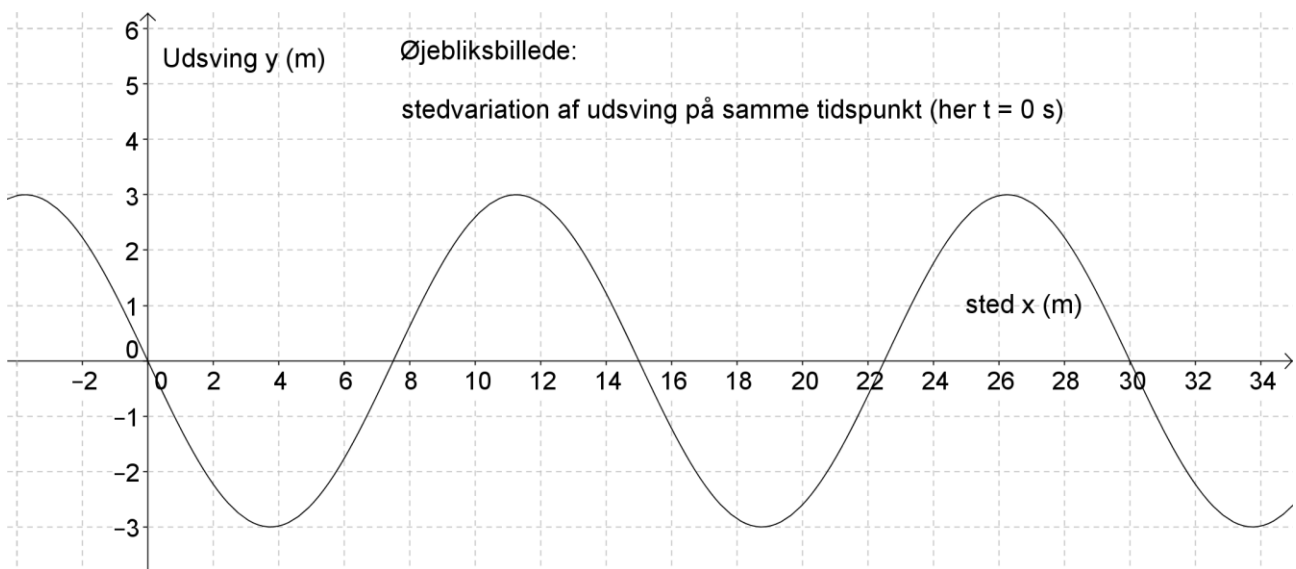
En matematisk beskrivelse af en harmonisk bølges bevægelse langs x-aksen er givet ved funktionen

$$y(x, t) = A \cdot \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right) \quad \text{Udsving fra } y(x, t) = 0$$

Her er A bølgens amplitude, T er perioden for bølgen, og λ er bølgelængden.

Når funktionen ovenfor skal tegnes, skal tegneprogrammet regne i vinkelmålet radiantal. Er du mere tryk ved at regne med grader, skal du i formlen udskifte 2π med 360 (grader).

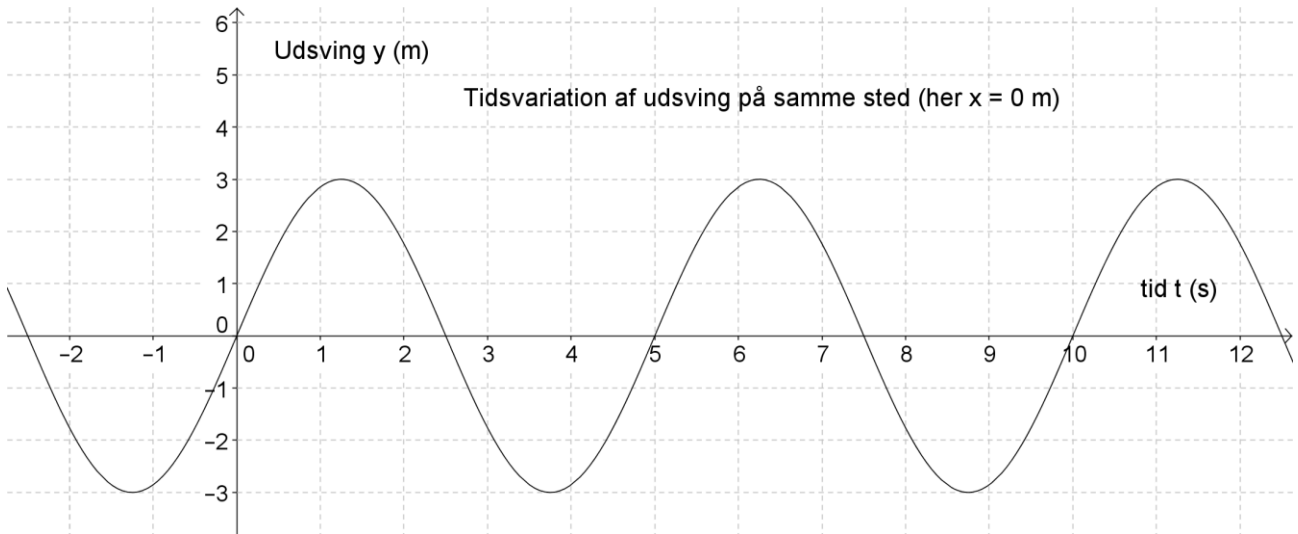
Vi får et øjebliksbillede (snapshot!) af bølgen ved at vælge tiden t (fx sætte $t = 10$ s) og på dette tidspunkt tegne y som funktion af x .



På ovenstående figur er tegnet et øjebliksbillede af en harmonisk bølge.

- a) Benyt figuren til bestemme bølgens amplitude A og bølgens bølgelængde λ

Omvendt får vi et billede af tidsafhængigheden et bestemt sted i bølgen hvis vi vælger en fast værdi for stedet x .



For samme bølge ses herover en (t, y) – graf for stedet $x = 0$ m.

- b) Benyt figuren ovenfor til at bestemme bølgens periode T
- c) Brug svarene i a) og b) til at beregne bølgens fart v
- d) Tegn øjebliksbilleder for bølgen til tidspunkterne $t = 0$ s, $t = 1$ s og $t = 2$ s med dine værdier af amplitude, bølgelængde og periode. Hvordan er bølgens bevægelse?

Antag, at vi 'surfer' på bølgen, dvs. vi følger bølgens bevægelse med en konstant værdi af y , fx 2,0 m

- e) Hvad kan man sige om den såkaldte fase $2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ når vi 'surfer'?

B10 Tsunamibølger

Tsunamibølger er vandbølger skabt af forskydninger mellem tektoniske plader i havbunden. Farten af disse bølger kan blive meget stor på dybt vand. Følgende formel kan anvendes:

$$v = \sqrt{g \cdot h} \quad \text{Tsunamibølges fart}$$

Her er v tsunamibølges fart, g er tyngdeaccelerationen, og endelig er h dybden af havet.

Vi antager, at tyngdeaccelerationen er $9,8 \text{ m/s}^2$, og at havdybden er 4000 m.

- a) Beregn tsunamibølges fart, både med enheden m/s og med enheden km/h. Kan et passagerfly følge med?

Bølgelængder for disse bølger kan være mere end hundrede kilometre på dybt vand. Vi antager, at bølgelængden er 150 km (det svarer til bredden af forskydningszonen, hvor havbunden pludselig enten løftes eller sænkes op til nogle meter. Længden af forskydningszonen kan være fx 1000 km).

- b) Beregn perioden for denne bølge

Bølgens fart vil falde voldsomt når bølgen når ind på lavere vand, mens bølgens periode vil være den samme.

- c) Brug formlen ovenfor til at beregne bølgens fart og bølgelængde på dybden 40 m

Når bølgens energi er den samme som på dybt vand og bølgelængden på mindre dybder bliver meget mindre, vil bølgens amplitude til gengæld vokse voldsomt. En mur af vand vil ramme kysten – eventuelt med voldsomme ødelæggelser til følge.

Kilde: *Tsunamiens fysik*, af Benny Lautrup

B11 Kammertonen A

Den såkaldte kammertone er en svingning med frekvensen 440 Hz (tonen A). Mange stemmegafler har netop denne frekvens.

- a) I det et oplyses, at lydets fart i luft ved 20 °C er 344 m/s, skal du beregne bølgelængden svarende til kammertonen

To oktaver lavere finder vi også tonen A ved 110 Hz. Det er netop frekvensen, som den næsttykkeste guitarstreng svinger med. Strengens længden er 65,6 cm, som i grundsvingningen er en halv bølgelængde.

- b) Beregn bølgelængden i luft og bølgefarten på guitarstrengen



Stemmegaffel: må vi lige bede om kammertonen, tak

B12 Lydintensitet og decibelskala

Vi antager i denne opgave, at lydintensiteten fra lydkilden aftager med kvadratet på afstanden (afstandskvadratloven).

Hvis lydenergien fordeles ligeligt i alle retninger, vil lydintensiteten være givet ved formlen

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{SI-enhed: } [I] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \text{Lydintensitet}$$

Her er P den af lyd giveren udsendte lydeffekt, r er afstanden til lydkilden.

Det er dog langt fra altid, at lyden fordeles ligeligt i alle retninger, men ikke desto mindre vil lydintensiteten aftage med kvadratet på afstanden fra en mindre højttaler, hvis man fjerner sig i en bestemt retning fra denne.

Lydniveauet L er defineret ved

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{enhed:} \quad \text{dB} \quad \text{Lydniveau}$$

Lydniveauet måles i deciBell (dB). Desuden er $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, som er den svagest hørbare lydintensitet ($L = 0$ dB).

Antag at en højttaler udsender en lydeffekt på 1000 W ligeligt i alle retninger. Du befinder dig i afstanden 15 m fra denne.

- Beregn lydintensiteten og lydniveauet i denne afstand fra højttaleren
- Hvad sker der med lydintensiteten og lydniveauet hvis du fjerner dig til 30 m's afstand?
- Hvor langt skal du væk for at lydniveauet når ned på 85 dB, som er grænsen for støj på arbejdspladsen ved 8 timers arbejde?
- Undersøg, om der er lovmæssige begrænsninger for lydniveauet ved fx festivaler i Danmark

B13 Doppler-effekt - formler

I denne opgave betegnes lydens fart med v og lyd giverens fart med u . Bølgelængder betegnes med λ og lydbølgens periode betegnes med T .

Når lyd giveren bevæger sig mod dig, vil lyd giveren i tidsrummet mellem udsendelsen af to bølgetoppe bevæge sig et stykke i retning af dig. Herved bliver afstanden mellem de to bølgetoppe, der er på vej mod dig, (altså bølgelængden) mindre.

- Begrund, at denne ændrede bølgelængde er givet ved

$$\lambda_1 = \lambda - u \cdot T$$

hvor λ er bølgelængden når bølge giveren ikke bevæger sig.

- Forklar, at denne formel kan omskrives til

$$\lambda_1 = \lambda \cdot \left(1 - \frac{u}{v}\right) \quad \text{bølge giver mod iagttager – mindre bølgelængde}$$

Benyt hertil, at $v = \frac{\lambda}{T}$

- Begrund, at den tilsvarende ligning for frekvenserne er

$$f_1 = f / \left(1 - \frac{u}{v}\right) \quad \text{bølge giver mod iagttager – højere frekvens}$$

- d) Find selv de tilsvarende formler når bølge giveren bevæger sig væk fra dig

B14 Dopplereffekt – vild kørsel

En bilist har helt glemt, at der er noget der hedder fartgrænser. Han kører med halvdelen af lydens fart. Og med hornet i bund. Hornets frekvens er 200 Hz når bilen er i hvile, og lydens fart er 344 m/s.

(Brug gerne formler fra forrige opgave)

- Hvad er bølgelængden af hornsignalet når bilisten holder stille?
- Hvad er bølgelængden og frekvensen når bilisten bevæger sig lige mod dig?
- Hvad bliver bølgelængde og frekvens når bilisten bevæger sig bort fra dig?

B15 Dopplereffekt – stjerne

Når en bølge giver bevæger sig mod iagttageren, vil bølgelængderne fra denne formindskes.

- Begrund formlen – se betegnelser i opgave om dopplereffekt og formler

$$\frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda} = \frac{u}{v}$$

- En stjerne bevæger sig i retning mod Jorden med farten 200 km/s. Hvor mange % vil bølgelængderne i stjernens lys formindskes med?

B16 Stående bølger på snor

Når en snor spændes op, vil bølgefarten (som bestemmer frekvenserne af svingningerne på snoren) på denne være givet ved formlen

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{Bølgefart på snor/streng}$$

Her er v bølgefarten, F er snorspændingen (den kraft, snoren er spændt op med), og endelig er μ strengens masse pr. længdeenhed.

- Gør rede for SI-enhederne i ligningen ovenfor

For grundsvingningen på snoren/strengen er den svingende snors længde en halv bølgelængde. Frekvensen af grundsvingningen (1 bug) kan herefter bestemmes af ligningen

$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{Frekvens af grundsvingning}$$

Her er den svingende snors længde betegnet med l .

- b) Hvad sker der med grundsvingningens frekvens, hvis snorspændingen fire-dobles?
- c) Hvad sker der med grundsvingningens frekvens, hvis snorens masse pr. længde firedobles?

En vandret snor med den svingende længde 1,50 m har en masse pr. længde på 2,50 g/m. Denne snor spændes op med et lod, der hænger i snoren over en trisse ved bordkanten. Loddets masse er 200 g.

- d) Beregn bølgefarten og grundsvingningens frekvens for denne snor

Ved første og anden oversvingning er der på snorens længde hhv. 2 halve og 3 halve bølgelængder (eller hhv. 2 og 3 buge).

- e) Beregn bølgelængde og frekvens for disse svingninger
- f) Ved eftervisningen af bølgefartformlen ovenfor skal du selvfølgelig bestemme kraften F og bølgefarten v uafhængigt af hinanden i en måleserie med en bestemt snor. Ved grafisk eftervisning, hvordan kan du opnå at du får en graf med μ som hældningskoefficient?

B17 Halvåbent resonansrør med variabel længde – lydets fart i luft

En højttaler anbringes over et halvåbent resonansrør, fx et rør med variabel væskehøjde. Ved en given frekvens ændres længden af resonansrøret indtil en forstærkning (resonans) høres. Rørets længde måles (s_1). Herefter ændres resonansrørets længde igen. Antallet af nye resonanser, der stødes på undervejs, tælles (n), og ved at passende antal stoppes, hvorefter rørets længde måles igen (s_2).

Måleresultater ses i skemaet nedenfor. Temperaturen i lokalet var 20 °C.

frekvens/Hz	rørlængde s_1 /cm	rørlængde s_2 /cm	resonanser n
3000	5,5	52,5	8
2800	6,3	49,4	7

Idet du sikkert ved, at afstanden mellem resonanserne i dette tilfælde er en halv bølgelængde, skal du besvare følgende:

- a) Bestem bølgelængderne og lydets fart i luft ud fra de to sæt målinger
- b) Sammenlign med 344 m/s, som er lydets fart ved 20 °C

B18 Resonansrør – øregang, hørelse

Øregangen fungerer som et halvåbent resonansrør. Hos et voksent menneske er længden af øregangen omkring 2,5 cm. Man kunne kalde øregangen en kvartbølge-resonator, fordi øregangens længde netop er en kvart bølgelængde for resonansfrekvensen.

Et menneskes hørelse er mest følsomt i området 3000 – 4000 Hz. Det hænger sammen med resonansrørvirkningen, som kan forstærke lyden 6 – 8 gange i dette område.

- a) Beregn den største bølgelængde, der kan forstærkes af øregangen. Hvilken frekvens svarer til denne bølgelængde, hvis lydens fart er 344 m/s? Stemmer det med det mest følsomme område omtalt ovenfor?

Et ungt menneske kan normalt høre frekvenser fra omkring 20 Hz til 20000 Hz.

- b) Hvilke bølgelængder svarer det til?

En del unge mennesker har dog nedsat hørelse bl.a. som følge af at de har lyttet til for høj musik i deres høretelefoner.

- c) Lav en måling i klassen, hvor der med en højttaler koblet til en tonegenerator begyndes med de lave frekvenser og langsomt skrues op. Se hvem der kan følge med længst op i frekvens

B19 Optisk gitter og laserlys

Et optisk gitter har 300 streger pr. mm, og det belyses af en grøn laserstråle med bølgelængden 532 nm. Laserstrålen rammer vinkelret ind på gitteret.

- a) Beregn gitterkonstanten. Angiv resultatet i enheden nm
- b) Beregn afbøjningsvinklerne mellem 0. ordens strålen og 1. ordens strålen, og mellem 0. ordens strålen og 2. ordens strålen
- c) Hvor mange ordener kan fås med denne kombination af optisk gitter og laserlys?

B20 Sporafstand på cd, dvd og blue ray disk

Afstanden mellem sporene på en cd er 1,6 μm . En cd belyses af en laserstråle med bølgelængden 532 nm. Strålen rammer vinkelret på cd-skivens overflade.

- a) Brug gitterformlen til at beregne vinklen mellem den reflekterede 0. ordens stråle og de reflekterede 1. ordens stråler
- b) Hvor mange ordener kan opnås med denne kombination af sporafstand og laserlys?

- c) Besvar samme spørgsmål for en dvd med sporafstanden $0,74 \mu\text{m}$ og en blue ray disk med sporafstanden $0,32 \mu\text{m}$



cd-ernes spejling af lyset er en følge af de tætliggende spor

B21 Synligt lys – bølgelængder og frekvenser

farve	vakuumbølgelængde i nm	frekvens i THz
rød	625-740	480-405
orange	590-625	510-480
gul	565-590	530-510
grøn	520-565	580-530
cyan	500-520	600-580
blå	450-500	670-600
indigo	430-450	700-670
violet	380-430	790-700

bølgelængder og frekvenser for synligt lys

Synligt lys har i vacuum bølgelængder fra 380 til 740 nm.

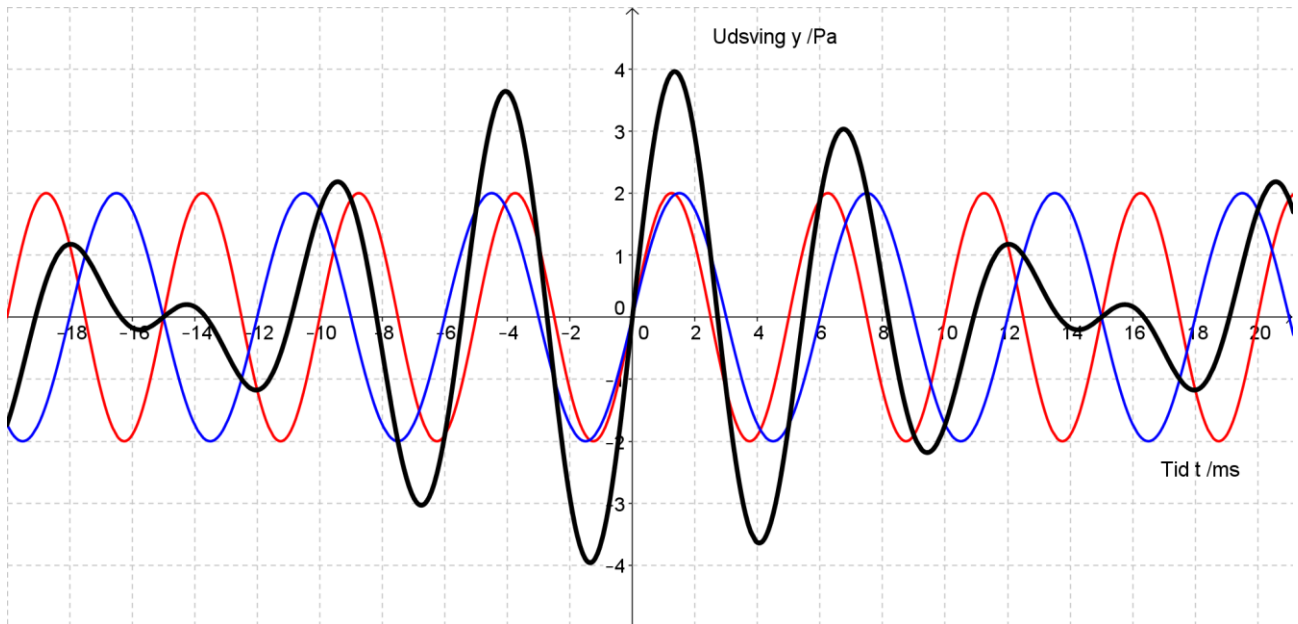
- Idet lysets fart er 299 792 458 m/s, skal du beregne de tilhørende frekvenser. Stemmer det med tabellens oplysninger?
- Hvorfor mon bølgelængderne kaldes vacuum-bølgelængder?

B22 Superpositionsprincip og interferens - stødtoner

Superpositionsprincippet for bølger siger, at den resulterende bølges udsving på et givet tidspunkt og sted er lig med summen af de enkelte bølgers udsving på samme tid og sted. Eller matematisk:

$$y_{res}(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad \text{superpositionsprincippet}$$

Som eksempel ser vi herunder tidsvariationen af to bølgers udsving på et fast sted, hvor bølgerne mødes. I samme koordinatsystem er tegnet den resulterende bølges udsving.



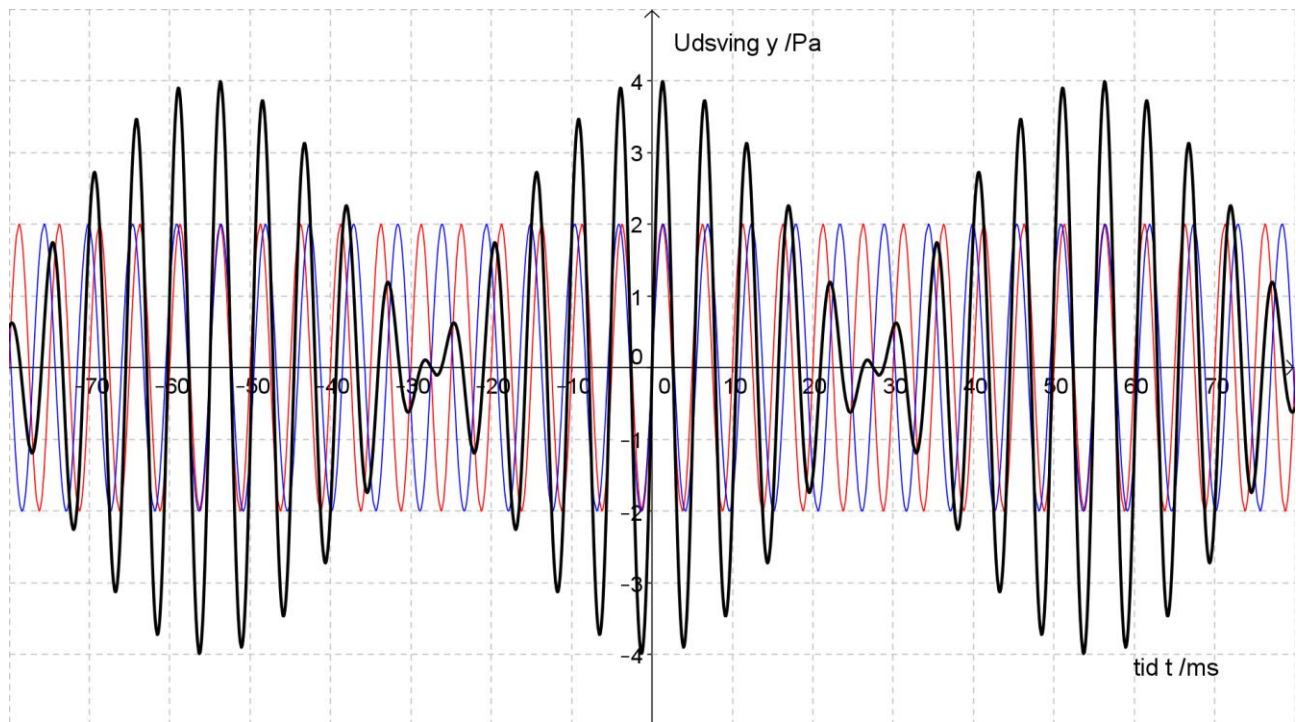
To bølger mødes og interfererer

De to enkelte bølgers udsving (den røde og den blå) på det sted, hvor de mødes, ses på figuren ovenfor, sammen med den resulterende bølge (sort).

- a) Prøv at forklare tidsforløbet af den resulterende bølges udsving

Udsvinget er målt i tryk-enheden Pa (Pascal). Det kunne være trykvariationerne fra to kraftige lydbølger, der mødes.

- b) Aflæs perioderne for den røde og den blå svingning og beregn de tilsvarende frekvenser
- c) Prøv med to højttalere og to funktionsgeneratorer at frembringe de to lydbølger. Hvordan lyder den resulterende lydbølge? Prøv også at lade de to frekvenser nærme sig hinanden – så vil du tydeligt kunne høre interferensen! (stødtoner). Se figuren nedenfor, hvor frekvensforskellen er 18,2 Hz.



Stødtoner høres tydeligst når frekvensforskellen på de to toner er lille

d) Hvis du selv vil tegne stødtone-billedet ovenfor, skal du bruge de to funktioner

$$y_1(t) = 2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5} \cdot t\right) \quad \text{og} \quad y_2(t) = 2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{5.5} \cdot t\right)$$

Et passende y - og t -område kan du se på figuren.

B23 Lysets fart

Lysets fart er i dag fastsat til $c = 299\,792\,458$ m/s, eller omtrent 300 000 km/s. Benyt dette til at besvare de følgende spørgsmål.

Jordens omkreds er tæt på 40 000 km

a) Hvor mange gange kan lyset nå rundt om Jorden på et sekund?

Gennemsnitsafstanden til Månen er 384 000 km.

b) Hvad er afstanden til Månen, udtrykt i lys-sekunder?

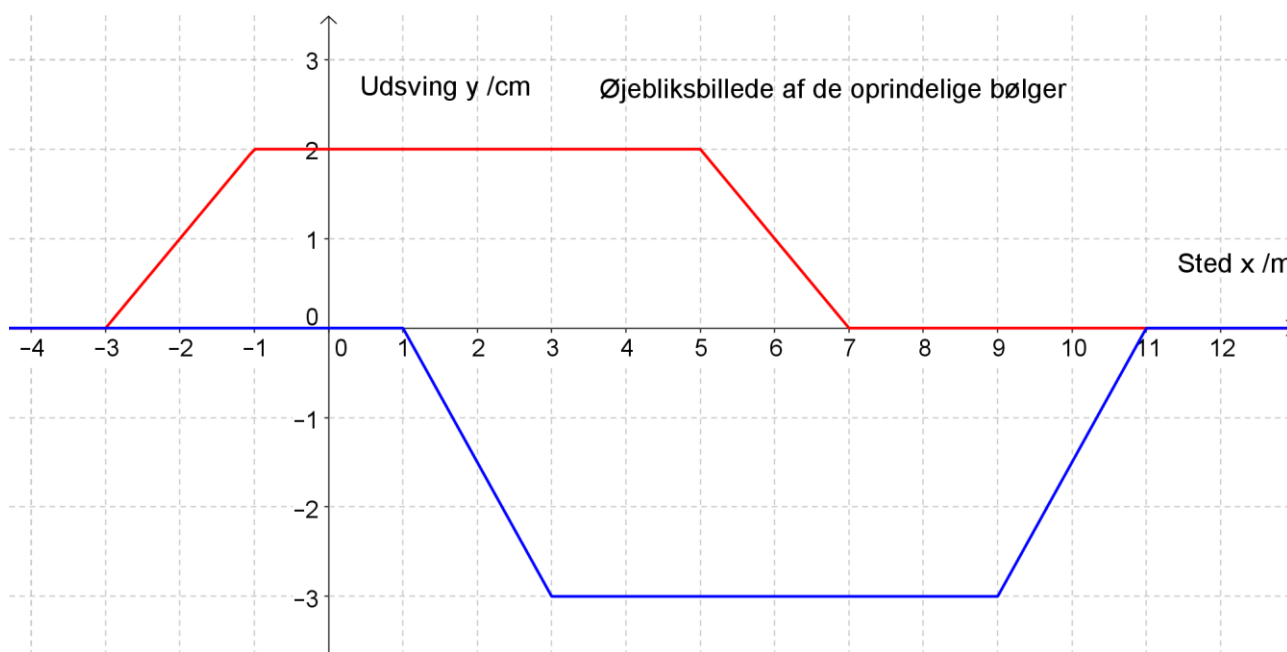
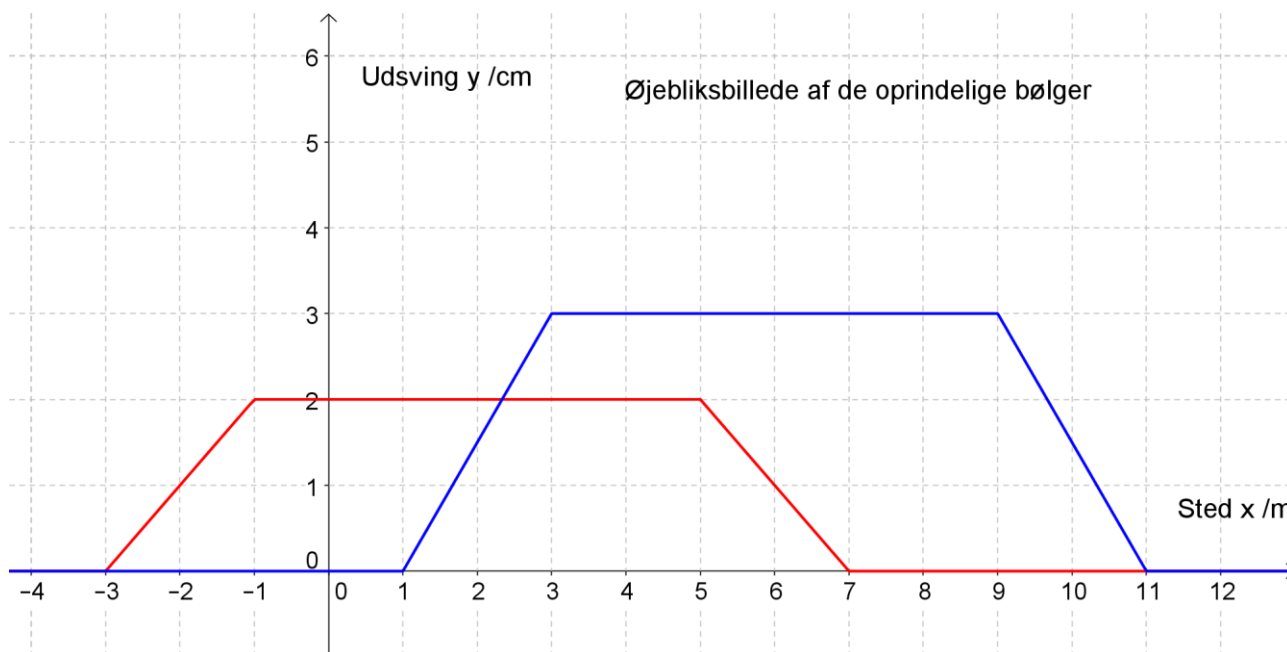
Jordens gennemsnitsafstand til Solen er 149,6 mio. km.

c) Hvad er afstanden til Solen, udtrykt i lys-minutter?

d) Hvor mange procent af lysets fart udgør lydets fart (344 m/s)?

B24 Superpositionsprincippet – konstruktiv og destruktiv interferens

På nedenstående to figurer ses to øjebliksbilleder af bølger (rød og blå), der møder hinanden. De er tegnet som de ville se ud hvis den anden bølge ikke også var der. Tegn den resulterende bølge. Vær præcis med din tegning.

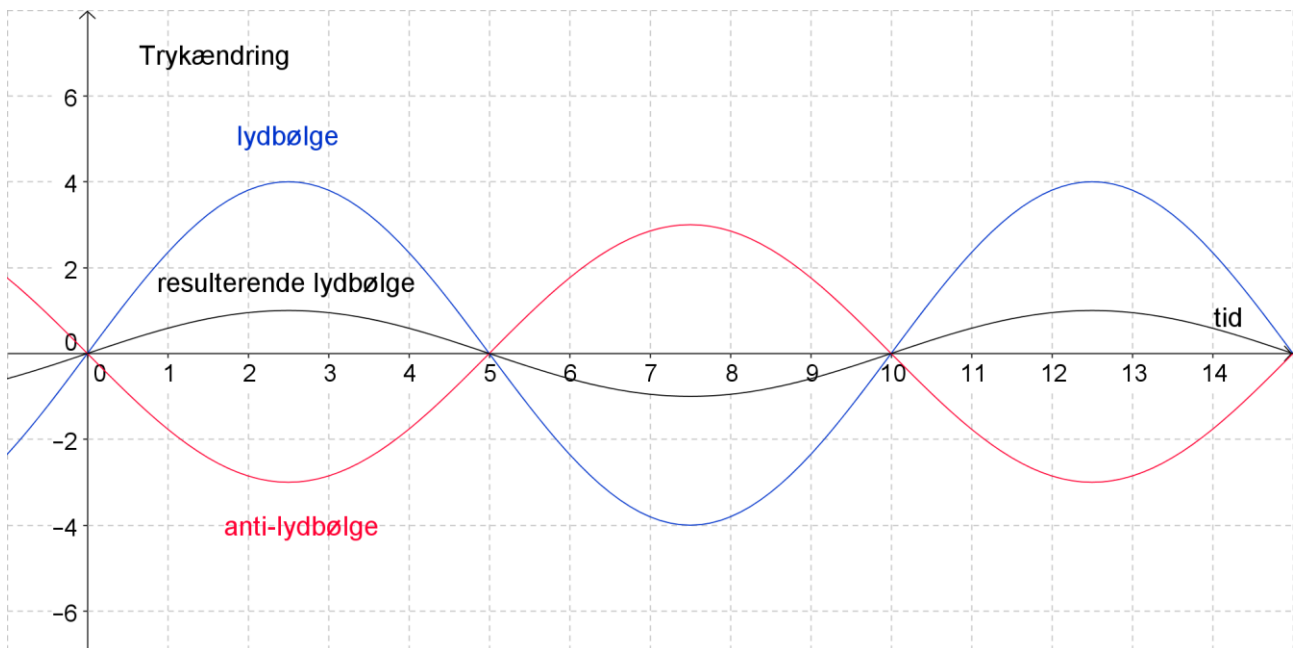


B25 – aktiv støjdemning – destruktiv interferens

Aktiv støjbekæmpelse har til formål at nedsætte eller fjerne den støj, der når øret. Ordet aktiv betyder i denne forbindelse at der dannes 'antistøj', der sammen med støjen giver en reduceret støjbelastning.

I praksis måler en mikrofon i eller uden på høretelefoner den indkommende lyd fra omgivelserne, og ud fra dette lydsignal genereres et 'antilydsignal', der via højttalerne i høretelefonerne sendes mod øregangen sammen med det oprindelige lydsignal.

Princippet er illustreret på figuren nedenfor.



Den indkommende (blå) lydbølge måles med en mikrofon, og et elektronisk kredsløb genererer så ud fra denne en (rød) anti-lydbølge. Den resulterende lydbølge (sort) er meget svagere, dvs. har mindre amplitude end den oprindelige lydbølge. Ideelt set skal antilydbølgen sammen med lydbølgen give en resulterende bølge med en trykændring på 0.

- Brug superpositionsprincippet til at forklare, hvordan den resulterende bølge på figuren fremkommer

Nogle høretelefoner kan dæmpe støj med helt op til 55 dB.

- Hvor mange gange er lydintensiteten formindsket i dette tilfælde?