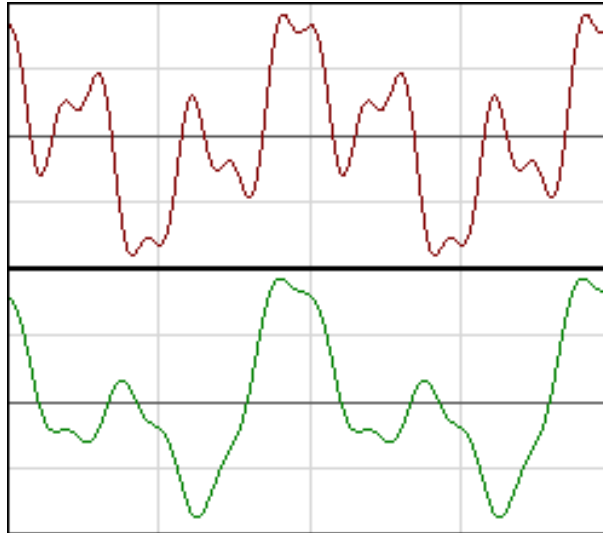


**Problem 1.** Figuren nedan visar två ljudsignaler som funktion av tid. Skalan är 1 ms per division. Källan är ett blåsinstrument.



Berätta allt som finns att berätta om de här ljudens likheter och olikheter, och om källan, utifrån dessa data. (4p)

*Lösning:*

Båda signaler är periodiska (i alla fall inom området som visas) och de har samma period på 2 ms. Det innebär att de har en frekvens på 500 Hz, och att det är samma tonhöjd. Eftersom inget har specificerats om den vertikala skalan, går det inte att säga något om amplituden. Signalerna skiljer sig i övertonernas intensitet och frekvens, så de har olika klangfärg. (2p)

Om källan kan man säga att instrumentets luftkolumn är antingen en halv våglängd (ett rör öppet på båda sidor) eller en fjärdedels våglängd (rör slutet i borte änden). Eftersom  $\lambda = T \times v_s$ , är en halv våglängd  $\frac{1}{2} \times 2 \cdot 10^{-3} \times 343 = 0,34$  meter, och en fjärdedels våglängd 17 cm. (1p)

Om röret är en fjärdedels våglängd, resonerar den halvöppna luftkolumnen också vid frekvenser som är 3, 5, eller 7 gånger högre, eller perioder som är 3, 5, 7 gånger kortare. I den övre signalen kan man tydligt se att det finns starka övertoner med en 3 gånger kortare period och med en 7 gånger kortare period. I den nedre panelen ser man tydligt den dubbla frekvensen, och dessutom en frekvens som verkar vara 6 gånger så högt. Så det måste vara från en luftkolumn som är öppen på båda sidor och 34 cm lång. (1p)

Källan är en orgel. Det är nog det enda "blåsinstrumentet" som kan ge så olika klang för samma ton. Genom att dra ut olika spjäll kan man få olika stämmor att ljuda.

4

**Problem 2.** a) Under vilka förhållanden avklingar ljudintensitet med kvadraten på avståndet till ljudkällan? (1p)

*Lösning:*

Potensen är  $N - 1$  om ljudet utbreder sig i  $N$  dimensioner, när det inte finns någon absorption. Det är en konsekvens av energins bevarande, och samma sak gäller för ljus och för gammastrålning, och dessutom för partikelflöden och för elektriska fält och gravitationsfält. Men i en föreläsningssal stämmer det inte bra för ljud, eftersom det finns båda reflektion från väggar och absorption i huvuden osv.

1

b) Anta för enkelhets skull att sambandet ovan gäller här. En student lyssnar på en föreläsning av en lärare som står 3 meter framför honom. Ljudnivån är 60 dB. Hur stor är föreläsarens effekt? (1p)

*Lösning:*

Intensiteten är  $10^{60/10}$  gånger referensintensiteten på  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>, alltså  $10^{-6}$  W/m<sup>2</sup>. Föreläsarens energiflöde integrerad över en sfär med en area  $4\pi r^2$  blir  $36\pi \cdot 10^{-6} \approx 0,113$  mW. Eller om man bara tar effekten över hemisfären ovan jord blir det  $56 \mu\text{W}$ . Och om man skulle betrakta reflektion från väggar och tak, ser man att föreläsaren kan nöja sig med ännu mindre energi.

1

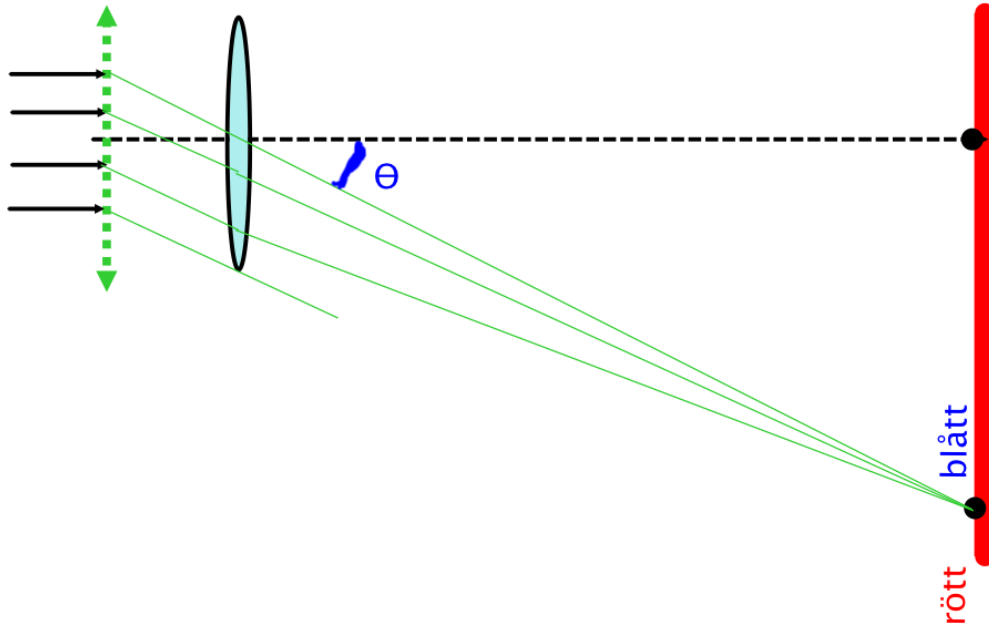
c) En annan student som sitter 1,5 meter längre bak börjar prata med sin granne med en effekt som är fyra gånger lägre än föreläsarens. Hur stor blir den sammanlagda ljudnivån hos studenten som försöker lyssna på föreläsningen? (1p)

*Lösning:*

Studenten får ett lika stort energiflöde bakifrån som från föreläsaren, enligt antaganden om en kvadratisk avklingande ljudintensitet. Källorna är inte koherenta, så det finns inga komplikationer med konstruktiv eller destruktiv interferens. Man kan addera intensiteterna, och den blir alltså två gånger så hög. Eftersom  $\log 2 \approx 0,3$  (eftersom  $2^{10} = 1024 \approx 10^3$ ), blir den totala ljudnivån 3 dB högre, dvs 63 dB.

1

**Problem 3.** Figuren nedan visar en knippe parallella strålar, ett gitter, en lens och en skärm. Ljuset som går rakt fram efter gittret fokuseras på skärmen, i en punkt på lensens optiska axel. Dessutom fokuseras ljus med en våglängd på 546 nm i en punkt indikerad med den andra prickn på skärmen.



a) Ange kvalitativt var rött och blått ljus hamnar på skärmen. (1p)

*Lösning:* Se figur; rött ljus har längre våglängd och har interferens vid större vägskillnader och vinklar (och det blåa vid mindre) än det gröna vid 546 nm.

1

b) Bestäm gittrets spaltavstånd. (1p)

*Lösning:* Konstruktiv interferens från alla spalter uppstår när  $\sin \theta = \lambda/d$ . Med avstånden uppmätta på pappersutskrift blir spaltavståndet  $d = \lambda / \sin \theta = 0,546 \times \frac{100 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = 1,2 \text{ } \mu\text{m}$ .

1

c) Konstruera de gröna strålarnas fortsättning till fokuspunkten vid 546 nm. (1p)

*Lösning:* De gröna strålarna är parallella efter gittret. Strålen genom lensens centrum går rakt till punkten på skärmen, de andra bryts dit.

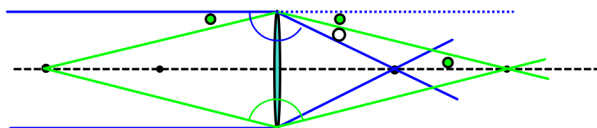
1

**Problem 4.** a) Linser bryter ljuset, men varför ritas man ett av huvudstrålarna som en rät linje i konstruktioner? (1p)

*Lösning:*

För tunna linser ritas man strålen genom linsens centrum som en rät linje. Eftersom linsens ytor är parallella där, är vinkeldeviationen noll. Det finns bara en liten förskjutning i sidled, som försummas för tunna linser.

b) Rita på den optiska axeln nedan en positiv lins. Rita de marginella strålarna för en källa som är oändligt långt bort och för en källa som befinner sig två fokallängder från linsen. (1p)



c) Visa att dessa marginella strålar bryts ungefär lika mycket i båda fallen, och förklara varför. (1p)

*Lösning:*

Vinkeln angiven i blå är ungefär lika stor som vinkeln angiven i grön om linsens diameter är liten i jämförelse med fokallängden. Man ser att vinklarna med gröna prickar är lika stora. Sedan är vinkeln med en öppen cirkel ungefär lika stor som dessa (men inte exakt, eftersom triangeln från linsens rand till  $f$  till  $2f$  inte är likbent).

Orsaken är att linsens ränder är som prismor med små apexvinklar. Sådana prismor har ungefär konstant deviation (men deviationen är minimal för det symmetriska fallet).

---

**Problem 5.** Ge tre olika bevis (med tydliga ritningar) för reflektionslagen. (3p)

*Lösning:*

Man kan visa det ur strålgångens omvändbarhet (tidssymmetri). Och man kan använda Fermats princip om minste tid (som här också är kortaste väg), antingen med Herons konstruktion eller analytisk. Eller man kan använda Huyghens princip.

---