

Maksimalt utsving - d.v.s. bølke -
for $\cos(kx) = \pm 1$,

altså når

$$x = \frac{n\pi}{k} = \frac{n}{2}\lambda \quad ; \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Dette betyr at vi får bølger midt
mellom knutepunktene - som vi
skulle vente.

Eksempel 2: $\varphi_1 = \varphi$, $\varphi_2 = \varphi + \pi = \varphi + \pi$

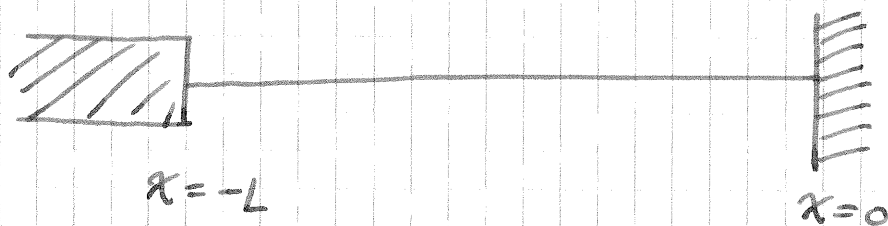
Fås ved refleksjon med motbølke
fase (d.v.s. at den høyre enden
av stungen er festet i noe
ubewegelig slik at vi får refleksjon
av hele bølgen i motfase)

(Betyr motbølke fase f.eks. i $x=0$).

Vi har fra side 184 at

$$D(x, t) = 2D_0 \cos(kx + \frac{\pi}{2}) \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}).$$

Vi vil videre betragte en streng som er fast i begge ender:



Dersom vi skal få maksimal bevægelse, d.v.s. resonans, må vi ha knudepunkter i begge ender, det vil si

$$D(0, t) = 0 \quad \text{for alle } t \quad (A)$$

$$D(-L, t) = 0 \quad \text{--- " ---} \quad (B)$$

$$(A) \text{ giv os } \cos(k \cdot 0 + \frac{\pi}{2}) = \cos \frac{\pi}{2} = 0 -$$

det vil si at denne ligning er automatisk opfyldt når vi har

vilket utföres.

Ena ligning (B) har vi

$$\cos(-kL + \frac{\pi}{2}) = 0$$

Som ger $kL = n\pi$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

eller

$$L = \frac{n\pi}{k} = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (C)$$

positiv heltal
 $L > 0$.

Alltså har vi resonans om L är
ett helt antal helva våglängder.

Enn vi frågar det - gill L , har vi

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, \dots \quad (D)$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = n \frac{v}{2L} = n \frac{\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}}{2L}$$

Kombiner vi ligning (c) med ligningen ovenfor på side 187, får vi

$$\begin{aligned}
 \boxed{D(x, t) &= 2D_0 \cos(kx + \frac{\pi}{2}) \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})} \\
 &= -2D_0 \sin(kx) (-\sin(\omega t + \varphi)) \\
 &= 2D_0 \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi) \\
 &= \boxed{2D_0 \sin(\frac{n\pi}{L}x) \sin(\omega t + \varphi)} \quad (E)
 \end{aligned}$$

Her er x i intervallet $[-L, 0]$.

Skru vi intervallet slik at $x \in [0, L]$, får vi forballt (E).

Vi får da kneppunkter der $\sin kx = 0$ i intervallet $[0, L]$, det vil si når

$$kx = \frac{2\pi}{\lambda}x = \frac{n\pi}{L}x = m\pi, \quad m = 0, 1, 2, \dots, n.$$

- det vil vi for

190

$$x = m \frac{\lambda}{2} = \frac{m\lambda}{n} L \quad m = 0, 1, 2, \dots, n$$
$$n = 1, 2, \dots$$

Betragt (amplitude maksimaene) for vi

$$\text{der} \quad \sin(kx) = \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) = \pm 1,$$

det vil vi

$$x = \frac{\lambda}{4} + m \frac{\lambda}{2} = \frac{L}{2n} + m \frac{L}{n}$$
$$m = 0, 1, \dots, n-1$$
$$n = 1, 2, \dots$$

Merk at for ligning (D) på side 188,
når vi får resonante stående bølger
med frekvens $f_1 \left(= \frac{\sqrt{F/\mu}}{2L} \right)$, så
kan vi også få resonante stående
bølger med frekvens

$$\boxed{f = n f_1}$$

En stående våg med $f = n f_1$
 har i følge uttrykket for
 knutepunktlene

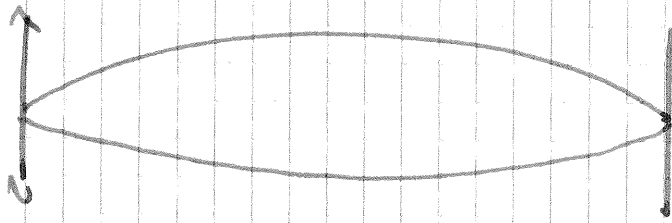
$$kx = m\pi, \quad m = 0, 1, \dots, n$$

$n - 1$ knutepunkt utenom festpunktene.

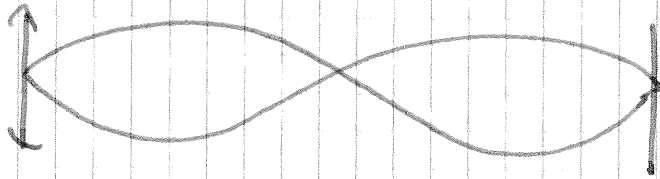
Resonans- frekvenser	{	$f_1 =$ grunnfrekvens	}		
		$=$ fundamentalt frekvens			
		$=$ første harmoniske			
		$f_2 = 2f_1 = 2.$ harmoniske			} overharmoniske = overtoner
		$f_3 = 3f_1 = 3.$ —————			
$f_n = nf_1 = n.$ —————					

Ved generering av andre signaltyper
 som harmoniske, kan mange
 resonansfrekvenser skrites samtidig.

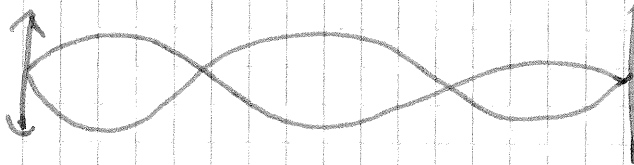
192



1. harmoniske



2. ———— u ————



3. ———— u ————

svingende strenge og luftsøjler
som lyd kilde.

Mange musik instrument bygge på
stående bølger:

f. eks. violin, gitar, piano

- stående bølger på streng.

f. eks. fløyte, trompet, pipeorgel

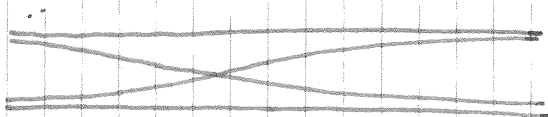
- stående bølger i smigende
luftbølger.

Lyd fra stangen fortæller ved en
eller annen form for lydkanal.

Vindinstrumenter produserer lyd ved
stående bølger i luftbølge.

Det er to slags luftpiper,
åpen og lukket:

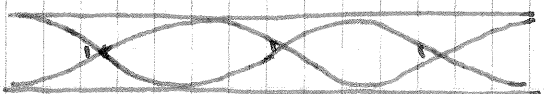
Åpen:



1. harmoniske $L = \frac{1}{2} \lambda_1$

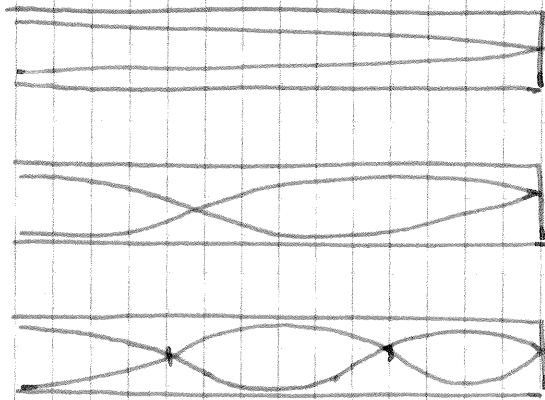


2. — " — $L = \lambda_2$



3. — " — $L = \frac{3}{2} \lambda_3$

lukket :



1. harmoniske $L = \frac{1}{4} \lambda_1$

2. $L = \frac{3}{4} \lambda_3$

3. $L = \frac{5}{4} \lambda_5$

Lys

Euclid (280 f.kr.): Lys er stråler som har sin kilde i øjet og som går i rette linjer i homogene medier med uendelig eller ∞ hastighed.

Al-Hayen (965-1039): Lys kommer fra lyskilder som oplyste objekter og derfor går lyset til øjet som registreringer af det. Tænk på lys som partikkelstrøm.

Descartes (1596 - 1650): Lys er

en kindens i retning av bevægelse i
et et. Refleksjon og brytning ble
 forklart i analogi med tennisball,
 d.v.s. partikkelteori.

Huygens (1629 - 1695): Lys er bølger (1690).

Menk eten var et klart medium
 der lysbølger kunne propagate.
 Han kunne grå lys som uregelmessige
 pulser, og hadde således ikke
 fargebegrep klart.

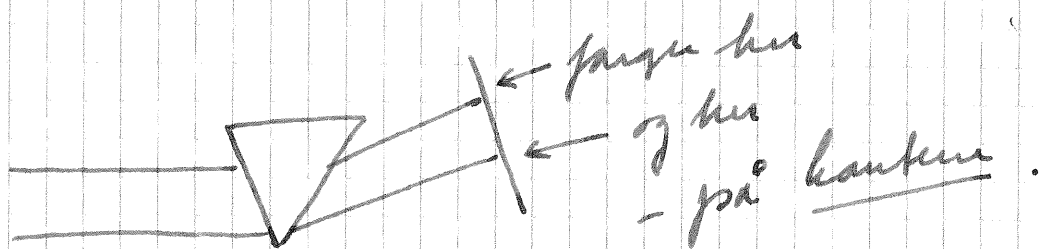
Newton (1642 - 1727): Lys er partikler.

Forklarte brytning ved modell som var
 gyldig for partikler (i "Opticks" fra 1704).

Newton viste også hvordan hvitt lys
 kunne oppdeles i et kontinuerlig
 fargeoppektrum og samles til hvitt

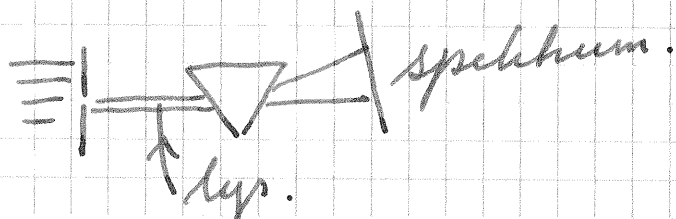
lys igjennem. Frønførte begrebet
polarisasjon - men kunne en
 partikkel modell til å forklare det.

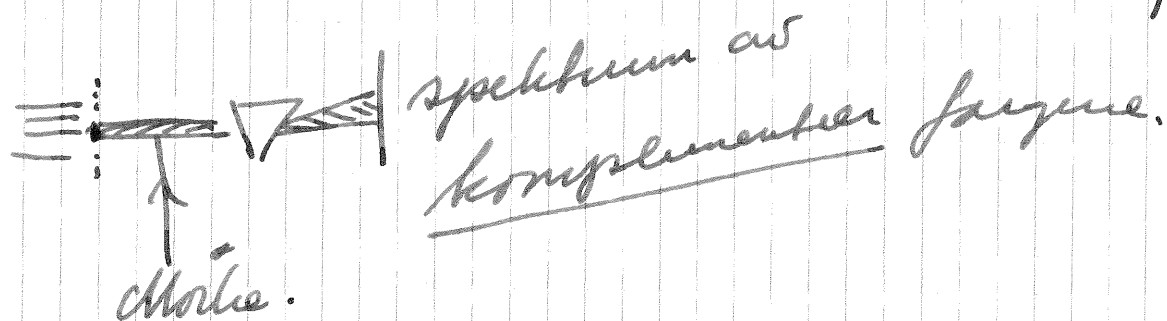
Goethe (1749-1832): Frønførte en
fargelære (1810): Farger oppstår når
 lys blandes med mørke. Dette er
 i motsetning til Newton som sa at
 hvitt lys er en blanding av alle
 fargene, rødt, orange, gult, grønt, blå,
 indigo og fiolett (regnbue).



Goethe:

Mørke er fraver av lys - og lys er
 fraver av mørke.





3 primärfärger: röd, grön, blå

Vid å blanda dessa kan
alla andra färger skapas.

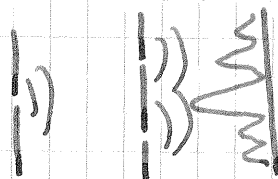
Blandas lukt: svart.

3 komplementärfärger: cyan, magenta, gul.

Vid å blanda dessa
kan alla andra
färger skapas.

Blandas lukt: svart.

Young (1773 - 1829): Visade att ljus har
periodisk vågstruktur vid sitt interferens-
experiment.



Detta var (og är) fullgodt bevis att
lys har periodisk våg natur.

Young ble mycket sugrupet för detta.

Maxwell ... (1831 - 1879): Lys
är elektromagnetisk strålning.

Einstein (1879 - 1955): Lys har en
form för partikkel natur. Förklarar
därmed den fotoelektriska effekten och
blanding av gamma med UV-lys.

Egenskaper som
lys utvisar

Reflektivitet

Brytning

Förklaringsmodell

partikkel / våg

{ Newton: partikkel
(gass)
Hä: våg.

Diffraksjon

bølge

Interferens

bølge

Polarisasjon

{ Newton: partikkel
 { vå: bølge

Farge

{ bølge / partikkel
 { Goethe: blanding
 av lys og mørke
 (gust)

Fotokemisk effekt

partikkel

Compton effekt

partikkel.

Lysbølgelengde

Ultraviolett (280 f. nm.) $\rightarrow$ ∞
 (antagelse)

Al Hagen (965-1039) indeling
 (antagelse)

200

Galileo (1600) : ∞ (Antagelse baseret på forudsigt)

Descartes (1596-1650) ∞ (Antagelse)

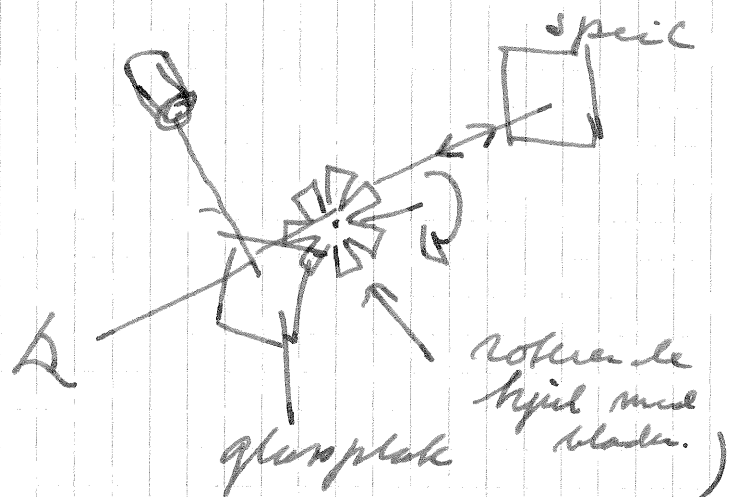
Roemer (1676) : endelig (Måling af tilrykkelighed af en af Jupiters måner. Resultatet afhænger af jordens placering i banen rundt om solen.)

Huygens (1676) $2.3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
(Baseret på Roemers data)

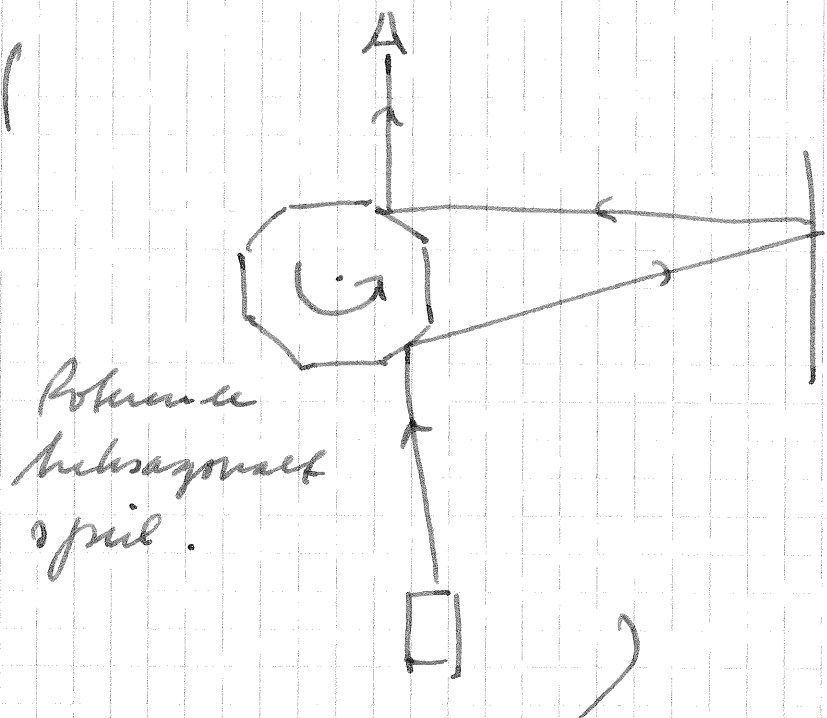
Newton (1676) $2.4 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
(Baseret på Roemers måling).

Fizeau (1849) $3.12 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

(Baserat på
först mätning
på jorden)



Michelson (1852-1931): $\text{mer } 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$



Analys av alla
mätningar till 1983:

$$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Definition i 1983:

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Meteren förändras om alla
mätningar blir gjorda senare.
