

Interferens

19 okt. 2026, 6 min läsning

UTKAST

#fysik #vågrörelselära #fenomen

Kurs: F0005T **Förkunskaper:** Superposition av vågor, Fas och faskonstant

När två vågor med samma frekvens möts avgör deras fasskillnad resultatet: i fas ger konstruktiv interferens och förstärkning, i motfas ger destruktiv interferens och utsläckning. Fasskillnaden följer i sin tur ur gångvägsskillnaden enligt $\Delta\delta = k \Delta r$.

1. Två vågor vid samma punkt

Två källor skickar vågor som når samma punkt efter att ha gått olika långt, r_1 respektive r_2 :

$$y_1(t) = a_1 \sin(kr_1 - \omega t + \alpha_1)$$

$$y_2(t) = a_2 \sin(kr_2 - \omega t + \alpha_2)$$

Gångvägen och faskonstanten går alltid ihop till samma sak, så vi samlar dem i en fastterm per våg:

$$\delta_1 = kr_1 + \alpha_1$$

$$\delta_2 = kr_2 + \alpha_2$$

Vågorna blir då rena funktioner av tiden:

$$y_1(t) = a_1 \sin(-\omega t + \delta_1)$$

$$y_2(t) = a_2 \sin(-\omega t + \delta_2)$$

och enligt **superpositionsprincipen** är resultatet

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t)$$

Fysika: Fc1a (superpositionsprincipen)

2. Använd komplex form

Summan är besvärlig trigonometriskt men enkel på **komplex form**:

$$y_1 = A_1 e^{-i\omega t} \quad y_2 = A_2 e^{-i\omega t}$$

med de komplexa amplituderna

$$A_1 = a_1 e^{i\delta_1} \quad A_2 = a_2 e^{i\delta_2}$$

Eftersom tidsfaktorn

$$e^{-i\omega t}$$

är gemensam kan den brytas ut:

$$y = A_1 e^{-i\omega t} + A_2 e^{-i\omega t}$$

$$y = (A_1 + A_2) e^{-i\omega t}$$

Kvar står en enda addition:

$$A = A_1 + A_2$$

3. Från amplitud till intensitet

Det vi mäter är inte amplituden utan intensiteten, och den går som kvadraten:

$$I \propto |A|^2$$

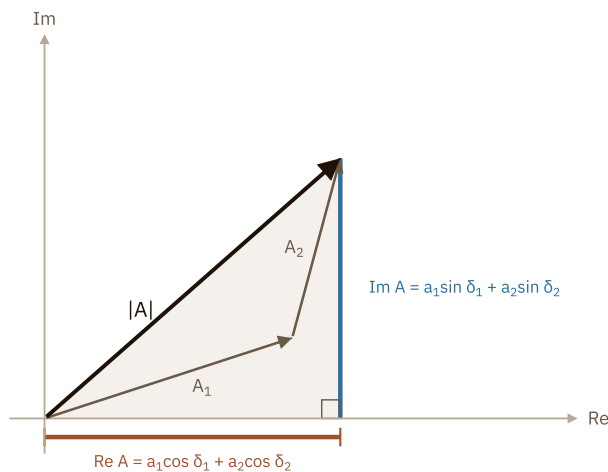
Sätt in summan

$$A = A_1 + A_2$$

vilket ger

$$|A|^2 = |A_1 + A_2|^2$$

Lägg till bild på hur man tar $\text{real}^2 + \text{imagenär}^2$ för att få A^2



Pythagoras:

$$|A|^2 = (\text{Re } A)^2 + (\text{Im } A)^2$$

utvecklat ger det

$$a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos(\delta_1 - \delta_2)$$

A_1 och A_2 ände mot ände ger resultanten A . Real- och imaginärdelen är kateterna i en rätvinklig triangel, så $|A|^2 = (\text{Re } A)^2 + (\text{Im } A)^2$.

Skriv ut de två amplituderna i polär form,

$$A_1 = a_1 e^{i\delta_1} \quad A_2 = a_2 e^{i\delta_2}$$

och utveckla kvadraten:

$$|A|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\delta_1 - \delta_2)$$

Fysika: Fc1a (i formen $a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \Delta\varphi$)

Uttryckt i intensiteter blir det

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta_1 - \delta_2)$$

Fysika: Fc4a (med $\Delta\varphi$ för fasskillnaden)

Den sista termen är **interferenstermen**, och den beror bara på fasskillnaden

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$$

Utan den hade intensiteterna bara adderats.

4. Konstruktiv och destruktiv interferens

Interferenstermen styrs helt av cosinus, så ytterlägena inträffar när fasskillnaden är en hel eller en halv period. Full förstärkning fås vid

$$\Delta\delta = p \cdot 2\pi \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

eftersom då

$$\cos(\Delta\delta) = 1$$

Full utsläckning fås vid

$$\Delta\delta = (2p + 1)\pi$$

då

$$\cos(\Delta\delta) = -1$$

Effekten är dramatisk när de två vågorna är lika starka:

$$I_1 = I_2 = I_0$$

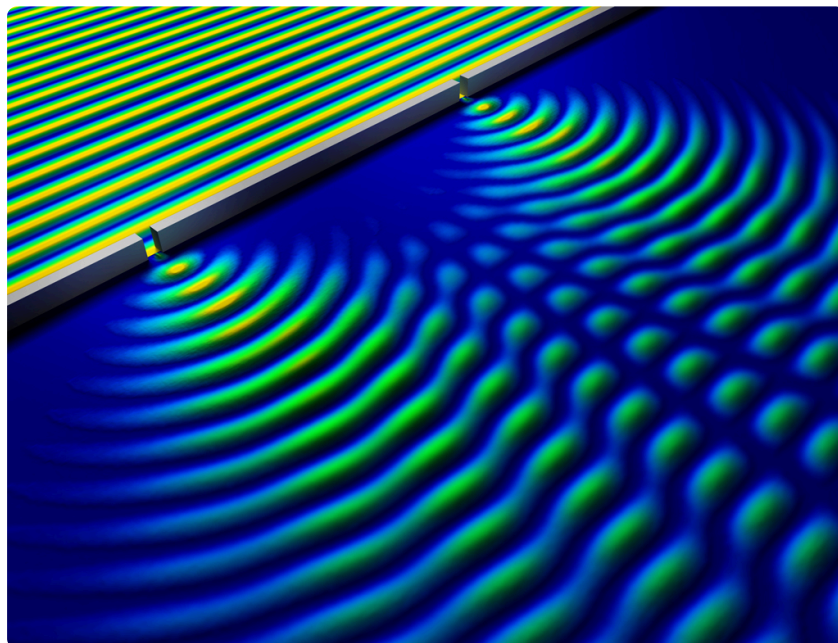
Vid konstruktiv interferens blir intensiteten fyrdubblad, inte fördubblad,

$$I = I_0 + I_0 + 2I_0 = 4I_0$$

och vid destruktiv interferens försvinner ljuset helt:

$$I = I_0 + I_0 - 2I_0 = 0$$

Energien är inte borta — den har omfördelats till de punkter där interferensen är konstruktiv.



5. Gångvägsskillnad och våglängd

Villkoren ovan är skrivna i fas, men det som går att mäta upp i ett rum är avstånd. Sänder två källor ut ljud **i fas** är faskonstanterna lika, $\alpha_1 = \alpha_2$, och de faller bort ur fasskillnaden:

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2 = k(r_1 - r_2)$$

Kvar står bara **gångvägsskillnaden** — skillnaden i sträcka från de två källorna fram till mätpunkten:

$$\Delta r = |r_1 - r_2|$$

Beloppet räcker eftersom cosinus är jämn och interferenstermen därför inte bryr sig om tecknet. Med vågtalet $k = 2\pi/\lambda$ blir kopplingen mellan sträcka och fas

$$\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$$

En hel våglängds gångvägsskillnad motsvarar alltså ett helt varvs fasskillnad. Villkoret $\Delta\delta = p \cdot 2\pi$ för konstruktiv interferens blir därmed

$$\boxed{\Delta r = p\lambda} \quad p = 0, 1, 2, \dots$$

och villkoret $\Delta\delta = (2p + 1)\pi$ för destruktiv interferens blir

$$\boxed{\Delta r = (p + \frac{1}{2})\lambda}$$

Våglängden fås i sin tur ur ljudhastigheten och frekvensen:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Fysika: Fc1 (i formen $v = f \cdot \lambda$)

6. Beteckningar och enheter

Noten drar in storheter från både vågbeskrivningen och intensitetsräkningen, och de är lätta att blanda ihop. Tabellen samlar dem i den ordning de dyker upp ovan.

Beteckning	Storhet	Enhet
y, y_1, y_2	Utslag — vågens momentana förskjutning	m
a_1, a_2	Amplitud — utslagets maxvärde	m
A, A_1, A_2	Komplex amplitud — amplitud och fas i ett tal	m
t	Tid	s
ω	Vinkelfrekvens	rad/s
f	Frekvens	Hz = s ⁻¹
λ	Våglängd	m

Beteckning	Storhet	Enhet
$k = 2\pi/\lambda$	Vågtalet — fasändring per längdenhet	rad/m
v	Våghastighet (här ljudhastigheten)	m/s
r_1, r_2	Gångväg — sträcka från källa till mät punkt	m
Δr	Gångvägsskillnad	m
α_1, α_2	Faskonstant — källans fas vid $t = 0$	rad
δ_1, δ_2	Fas i mätpunkten, $\delta = kr + \alpha$	rad
$\Delta\delta$	Fasskillnad mellan vågorna	rad
I, I_1, I_2	Intensitet — effekt per area	W/m ²
I_0	Intensiteten från en ensam källa	W/m ²
p	Ordningstal — hur många hela våglängder Δr motsvarar	dimensionslöst heltal

Utslag, amplitud och komplex amplitud delar alltid enhet: meter för en mekanisk våg, men en annan enhet för andra vågtyper. Radianen är dimensionslös, så $k \Delta r$ blir korrekt en ren fasvinkel.

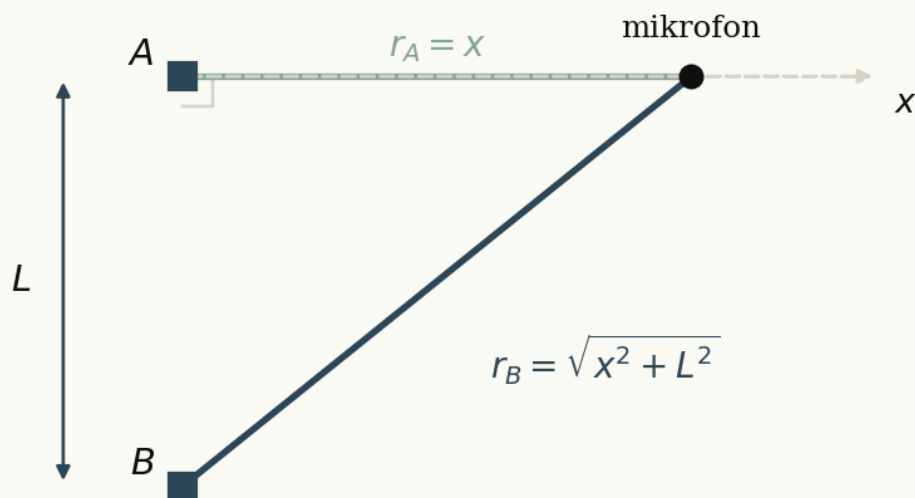
Räkneexemplen lägger till tre rent geometriska beteckningar:

Beteckning	Storhet	Enhet
L	Avstånd mellan högtalarna	m
x	Mikrofonens läge längs axeln från A	m
r_A, r_B	Avstånd från mikrofonen till respektive högtalare	m

7. Räkneexempel

≡ Exempel 1 — Hur långt ska mikrofonen föras?

Två högtalare A och B sänder ut ljud i fas vid frekvensen $f = 938$ Hz. Avståndet mellan högtalarna är $L = 2,06$ m. Hur långt ska en mikrofon föras från högtalare A längs x -axeln för att registrera interferensmax **4 gånger**? Ljudets hastighet är $v = 340$ m/s, och svaret ska anges i meter.



Lösning

Steg 1: våglängden.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{938} = 0,3625 \text{ m}$$

Steg 2: gångvägsskillnaden som funktion av x .

Mikrofonen står i punkten x på axeln genom A , och sträckan AB är vinkelrät mot den axeln. Avståndet till A är alltså x självt, medan avståndet till B ges av Pythagoras sats:

$$r_A = x \quad r_B = \sqrt{x^2 + L^2}$$

$$\Delta r = r_B - r_A = \sqrt{x^2 + L^2} - x$$

Steg 3: vilket ordningstal p hör till det fjärde maximet?

Vid $x = 0$, alltså intill högtalare A , är gångvägsskillnaden hela avståndet mellan högtalarna:

$$\Delta r(0) = L = 2,06 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \frac{L}{\lambda} = \frac{2,06}{0,3625} = 5,68$$

När mikrofonen förs bort blir de båda avstånden mer och mer lika, så Δr avtar strängt från L mot noll. Varje heltalsmultipel $p\lambda$ som ryms under L passeras därför exakt en gång, och de kommer i fallande ordning:

$$p = 5, 4, 3, 2, 1$$

Det fjärde maximet mikrofonen registrerar svarar alltså mot $p = 2$.

Steg 4: lös ut x ur maximivillkoret.

$$\sqrt{x^2 + L^2} - x = p\lambda$$

Flytta över x och kvadrera:

$$x^2 + L^2 = x^2 + 2p\lambda x + p^2\lambda^2$$

Termerna x^2 tar ut varandra, vilket gör ekvationen linjär i x :

$$x = \frac{L^2 - p^2\lambda^2}{2p\lambda}$$

Steg 5: sätt in siffrorna med $p = 2$.

$$p\lambda = 2 \cdot 0,3625 = 0,7249 \text{ m}$$

$$x = \frac{2,06^2 - 0,7249^2}{2 \cdot 0,7249} = \frac{4,2436 - 0,5255}{1,4498} = 2,564$$

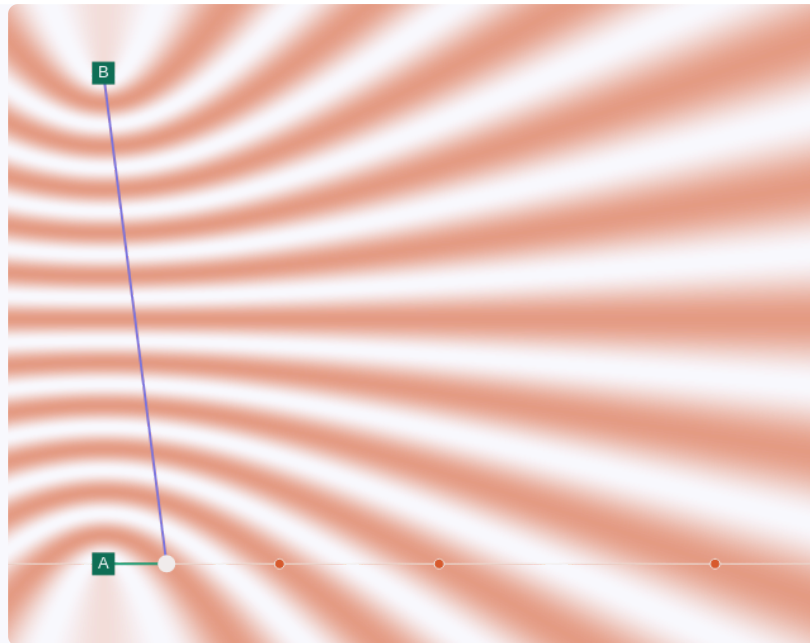
$$x \approx 2,56 \text{ m}$$

Rimlighetskontroll. Sätt tillbaka svaret i gångvägsskillnaden:

$$\sqrt{2,564^2 + 2,06^2} - 2,564 = 3,289 - 2,564 = 0,725 \text{ m} = 2\lambda \quad \checkmark$$

Läget ligger dessutom mellan det tredje maximet ($p = 3, x = 1,41 \text{ m}$) och det femte ($p = 1, x = 5,67 \text{ m}$), precis som ordningen i steg 3 kräver.

En bild som hjälpte mig förstå:



≡ Exempel 2 – Hur många max finns det?

Två högtalare A och B sänder ut ljud i fas vid frekvensen $f = 736$ Hz. Avståndet mellan högtalarna är $L = 3,51$ m. Hur många interferensmax kan en mikrofon registrera då den förs från högtalare A längs x -axeln? Ljudhastigheten är $v = 340$ m/s, och mikrofonen kan inte föras oändligt långt bort.

Lösning

Steg 1: våglängden.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{736} = 0,4620 \text{ m}$$

Steg 2: samma geometri som i exempel 1.

$$\Delta r = \sqrt{x^2 + L^2} - x$$

Funktionen avtar strängt från $\Delta r(0) = L$ och går mot noll när x växer. Den genomlöper alltså intervallet $0 < \Delta r \leq L$ och antar varje värde där exakt en gång.

Steg 3: räkna ordningstalen.

Ett max kräver $\Delta r = p\lambda$, och ett sådant p ger en lösning om och endast om $p\lambda$ ligger i intervallet ovan:

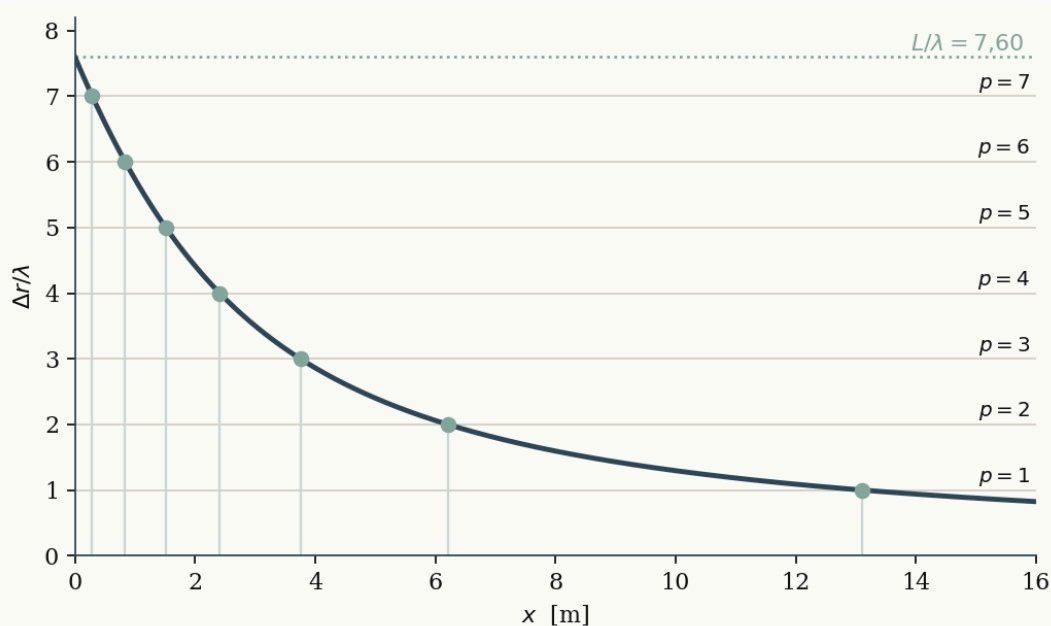
$$0 < p\lambda \leq L \quad \Longleftrightarrow \quad p \leq \frac{L}{\lambda} = \frac{3,51}{0,4620} = 7,60$$

Största tillåtna heltallet är $p = 7$, så ordningstalen $p = 1, 2, \dots, 7$ ger var sitt max:

7 interferensmax

Steg 4: varför $p = 0$ inte räknas.

Nollte ordningens max kräver $\Delta r = 0$, alltså $r_A = r_B$. Det inträffar först i gränsen $x \rightarrow \infty$, och eftersom mikrofonen inte kan föras oändligt långt bort registreras det aldrig.



Kurvan visar $\Delta r/\lambda$: varje gång den passerar ett heltal registrerar mikrofonen ett max. Den startar på 7,60 och kryper mot noll utan att nå dit, vilket är hela argumentet i steg 3 i bildform. Lägg också märke till att maximumen ligger tätt nära högtalaren och glesnar snabbt – det sista, $p = 1$, ligger så långt ut som 13,1 m.

p	7	6	5	4	3
x [m]	0,288	0,837	1,512	2,410	3,752

Läsning

- [16.6 Interference of Waves](#)
- [35.1 Interference and Coherent Sources](#)

Se även

- Superposition av vågor
- Vågor på komplex form
- Fasordigram
- Våglängd och vågtal
- Dubbelspaltexperimentet
- Visibilitet

Resurser

- [Wikipedia: Wave interference](#)[↗](#)
-
-