

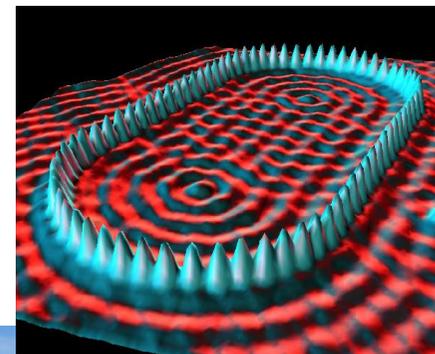
Vågrörelselära

Uppdaterad: 191008

Har jag använt någon bild som jag inte får använda? Låt mig veta så tar jag bort den.
christian.karlsson@ckfysik.se

- [1] Elasticitet (bl.a. fjädrar)
- [2] Elastisk energi /
- [3] Svängningsrörelse
- [4] Svängningsrörelse på riktigt
- [5] Resonans /
- [6] Vågor
- [7] Transversell vågrörelse (1D)
- [8] Longitudinell vågrörelse (1D)
- [9] Andra vågrörelser (2D) /
- [10] Exempel på olika vågrörelser
- [11] Att rita vågor i 2D
- [12] Huygens princip
- [13] Reflektion och brytning /
- [14] Böjning (diffraktion)

- [15] Superposition /
- [16] Interferens (1D)
- [17] Interferens (1D)
- [18] Interferens (2D)
- [19] Interferens (2D) /
- [20] Reflektion av pulser/vågor (1D)
- [21] Stående vågor (1D)



[14]



[13]

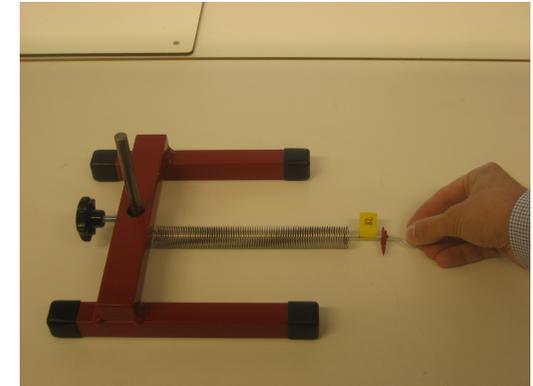


Elasticitet (bl.a. fjädrar)

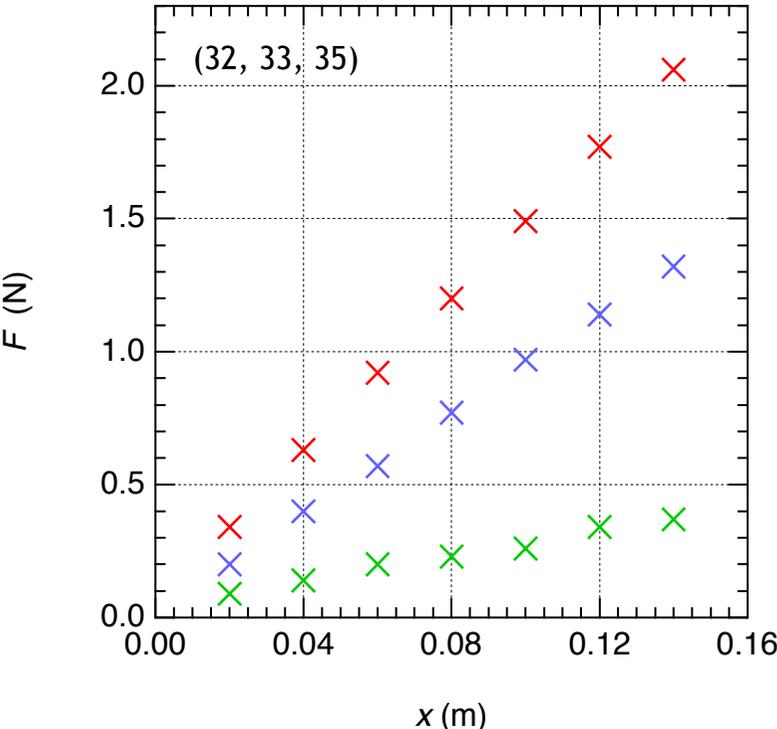
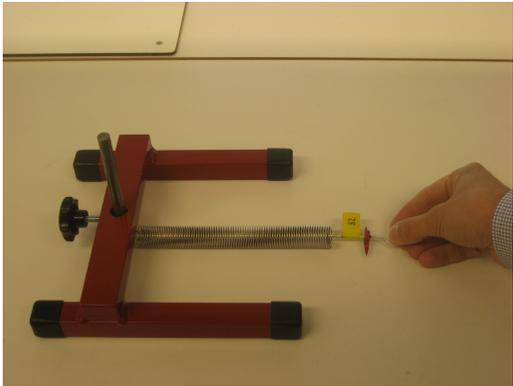
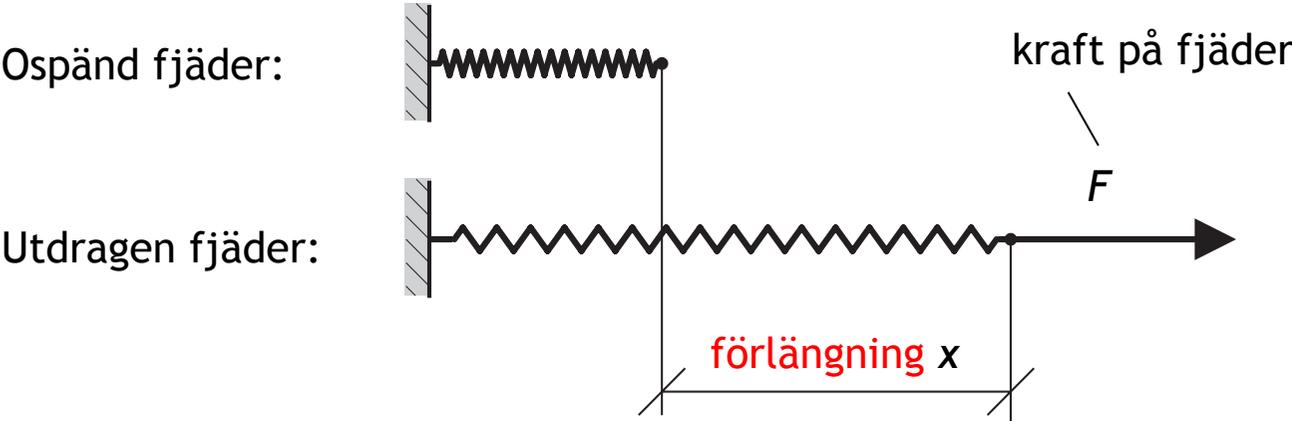
Ospänd fjäder:



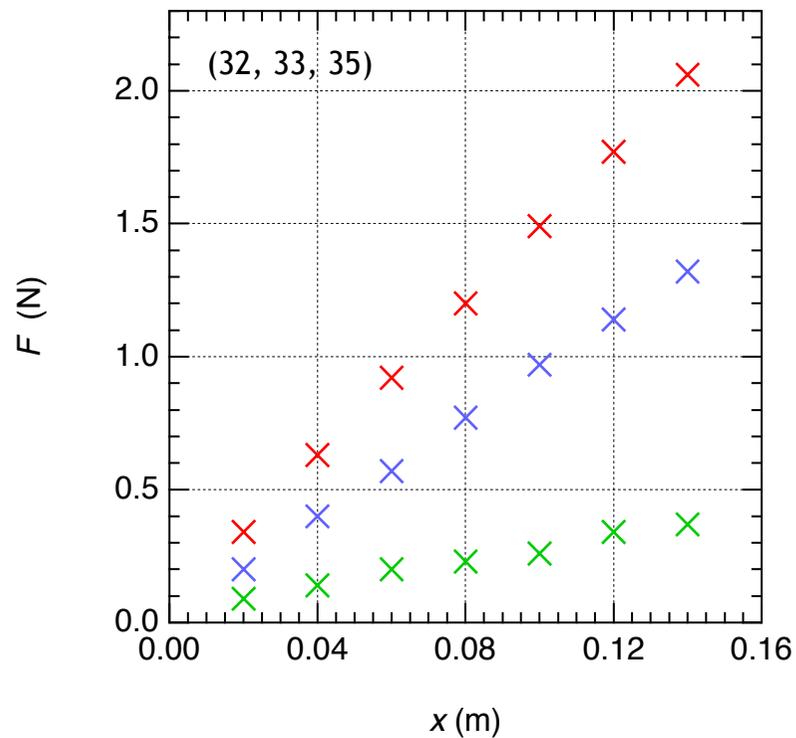
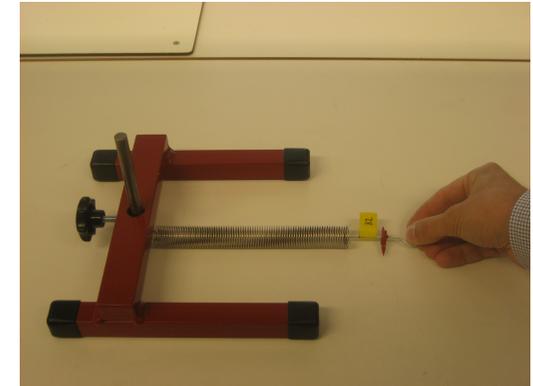
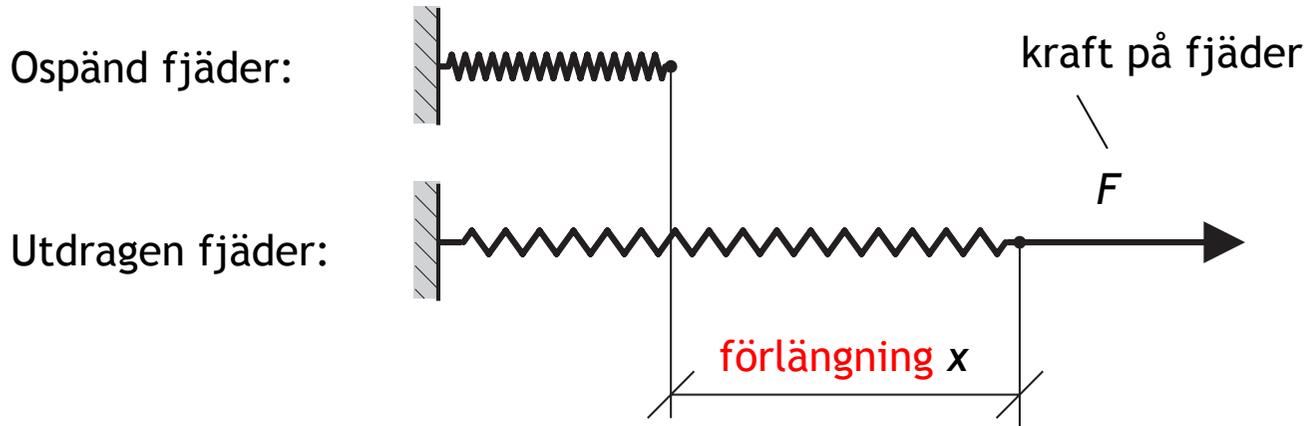
Utdragen fjäder:



Elasticitet (bl.a. fjädrar)



Elasticitet (bl.a. fjädrar)



I många fall gäller att

$$F = kx$$

(Hookes lag) [jfr Ohms lag]

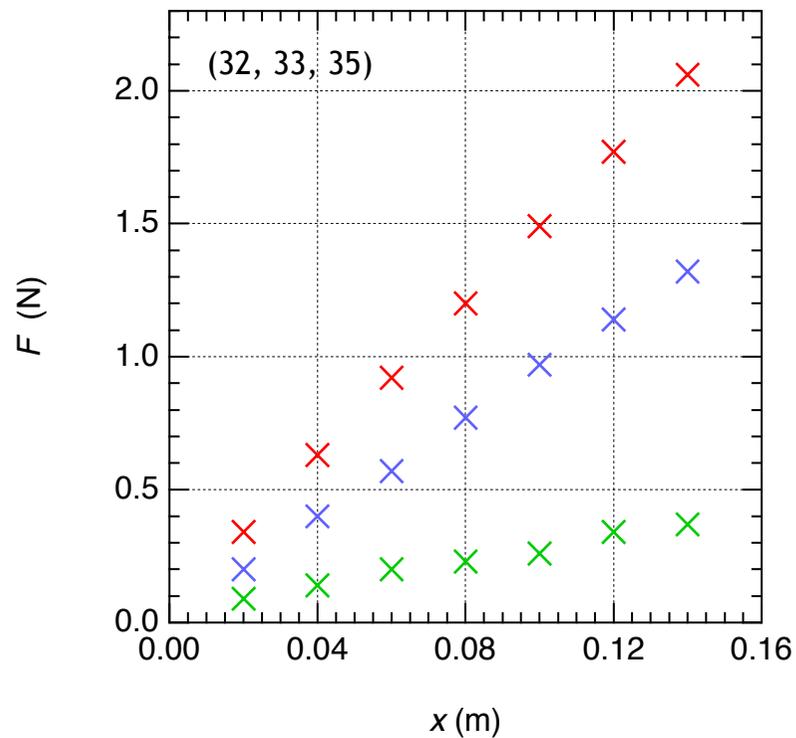
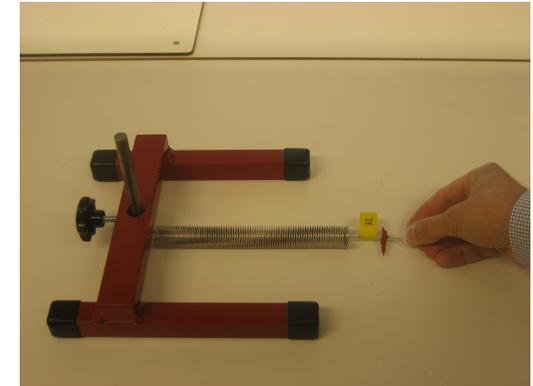
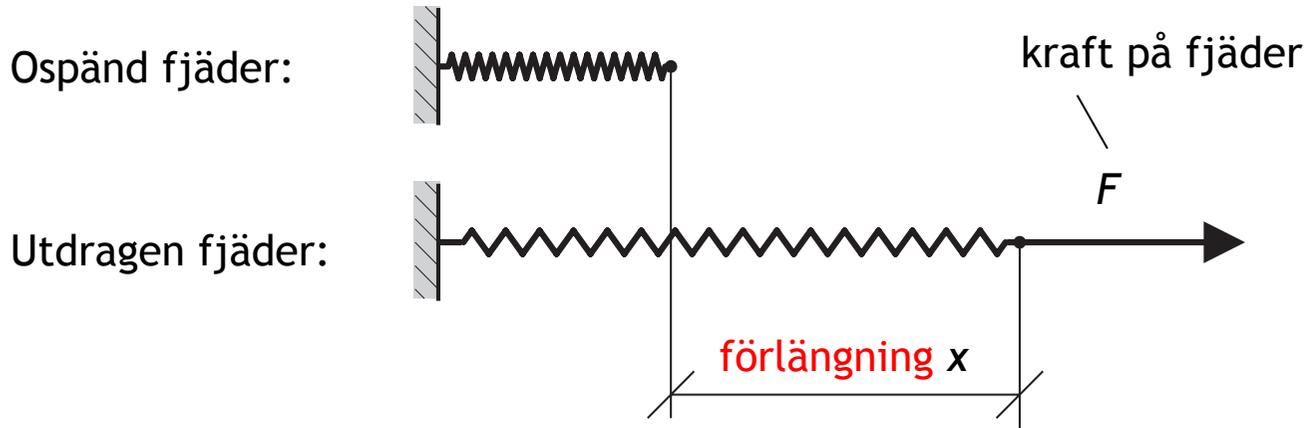
kraft på/från fjäder

förlängning eller hoptryckning

fjäderkonstant

ges av lutningen i F - x -diagram

Elasticitet (bl.a. fjädrar)



I många fall gäller att

$$F = kx$$

(Hookes lag) [jfr Ohms lag]

kraft på/från fjäder

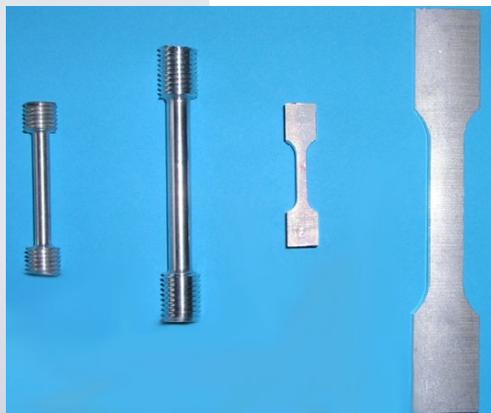
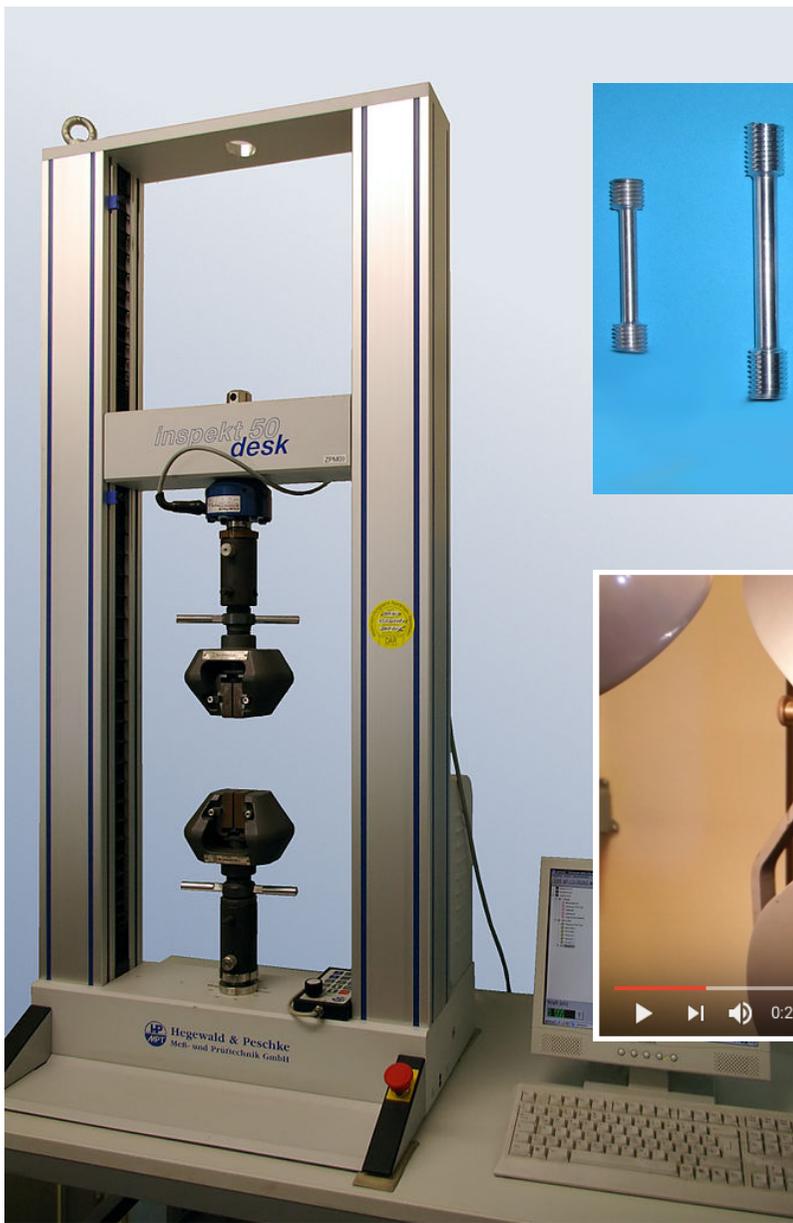
förlängning eller hoptryckning

fjäderkonstant

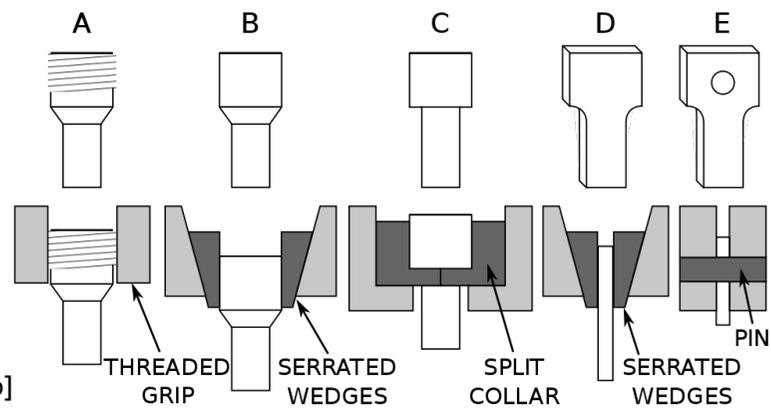
ges av lutningen i F-x-diagram



Dragprov



[1b]



[1b]



[1e]

[1b]



[1]



Dragprov

LETTER

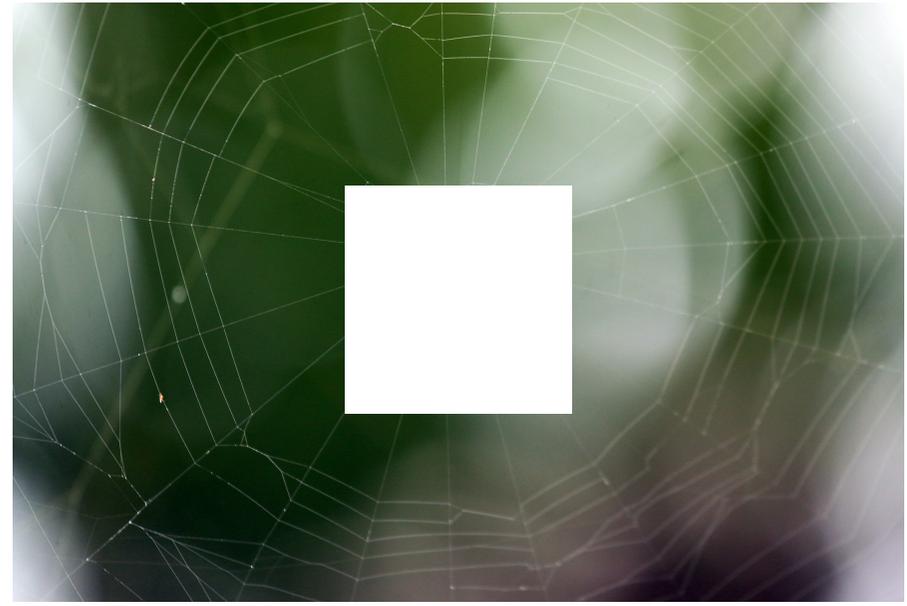
doi:10.1038/nature10739

Nonlinear material behaviour of spider silk yields robust webs

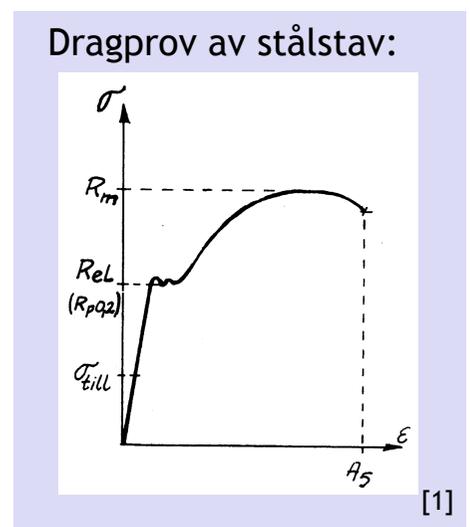
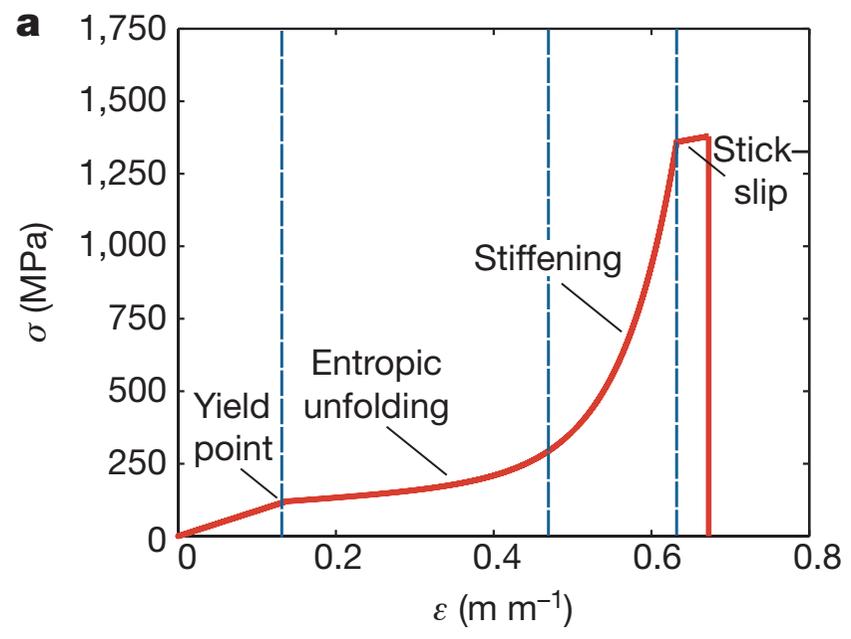
Steven W. Cranford^{1,2}, Anna Tarakanova^{1,2,3}, Nicola M. Pugno⁴ & Markus J. Buehler^{1,2,5}

Natural materials are renowned for exquisite designs that optimize function, as illustrated by the elasticity of blood vessels, the toughness of bone and the protection offered by nacre¹⁻⁵. Particularly intriguing are spider silks, with studies having explored properties ranging from their protein sequence⁶ to the geometry of a web⁷. This material system⁸, highly adapted to meet a spider's many needs, has superior mechanical properties⁹⁻¹². In spite of much research into the molecular design underpinning the outstanding

It is rare to see a perfectly intact web—debris, attack or unstable anchorage lead to loss of threads (see inset to Fig. 1c)—but the structure usually remains functional for a spider's use. We assessed a web's ability to tolerate defects by removing web sections (silk threads) and applying a local load (Fig. 1c). Removal of up to 10% of threads, at different locations relative to the load, had little impact on the web's response; in fact, the ultimate load capacity increased by 3-10% with the introduction of defects (Fig. 1c). We observed in all cases that



[1d]



[1]



Dragprov

LETTER

doi:10.1038/nature10739

Nonlinear material behaviour of spider silk yields robust webs

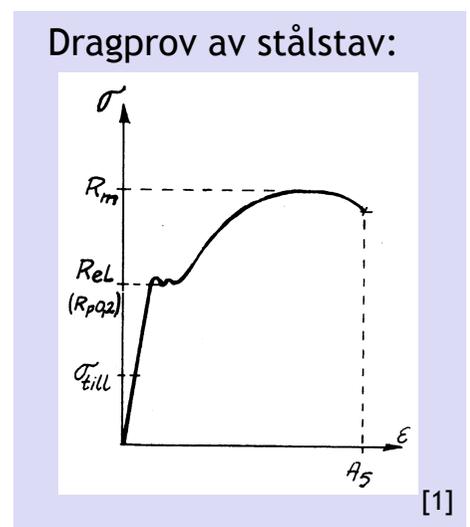
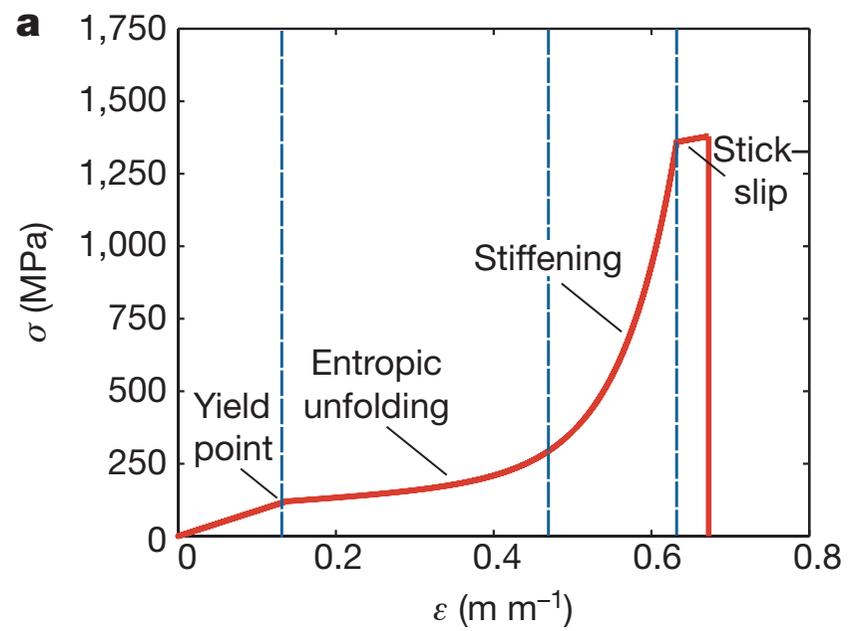
Steven W. Cranford^{1,2}, Anna Tarakanova^{1,2,3}, Nicola M. Pugno⁴ & Markus J. Buehler^{1,2,5}

Natural materials are renowned for exquisite designs that optimize function, as illustrated by the elasticity of blood vessels, the toughness of bone and the protection offered by nacre¹⁻⁵. Particularly intriguing are spider silks, with studies having explored properties ranging from their protein sequence⁶ to the geometry of a web⁷. This material system⁸, highly adapted to meet a spider's many needs, has superior mechanical properties⁹⁻¹². In spite of much research into the molecular design underpinning the outstanding

It is rare to see a perfectly intact web—debris, attack or unstable anchorage lead to loss of threads (see inset to Fig. 1c)—but the structure usually remains functional for a spider's use. We assessed a web's ability to tolerate defects by removing web sections (silk threads) and applying a local load (Fig. 1c). Removal of up to 10% of threads, at different locations relative to the load, had little impact on the web's response; in fact, the ultimate load capacity increased by 3–10% with the introduction of defects (Fig. 1c). We observed in all cases that



[1d]



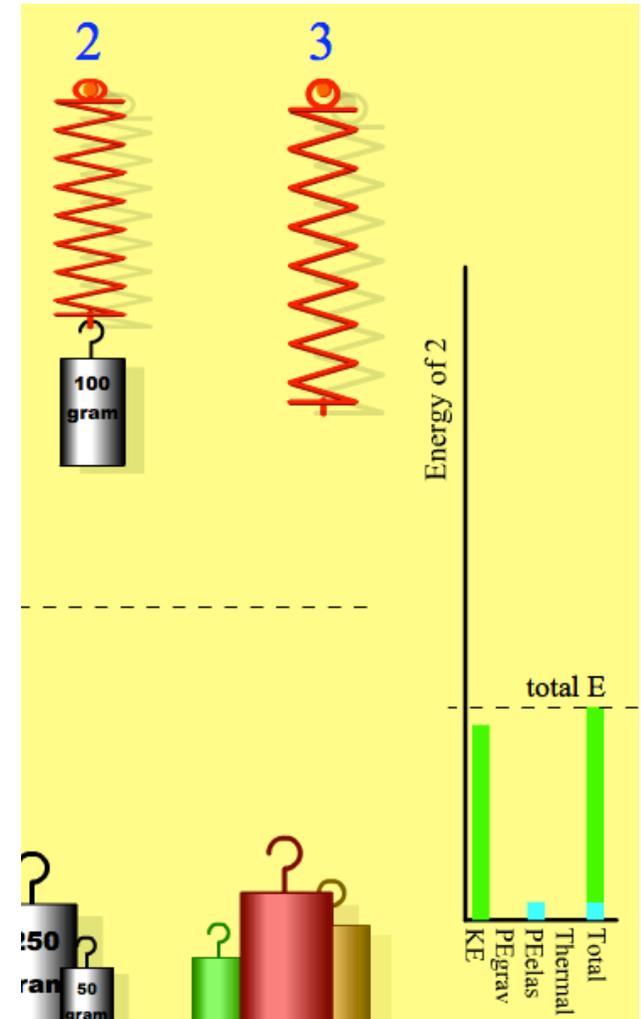
[1]

Elastisk energi

En fjäder kan lagra energi.

Elastisk energi i en fjäder* med fjäderkonstanten k som förlängts (eller tryckts ihop) avståndet x :

$$W_{\text{fj}} = \frac{kx^2}{2}$$



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/mass-spring-lab>

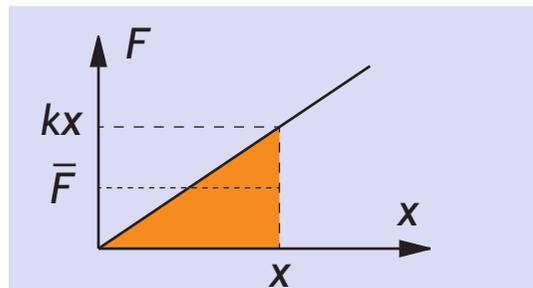
* Egentligen vilket föremål som helst som helst som följer Hookes lag.

Elastisk energi

En fjäder kan lagra energi.

Elastisk energi i en fjäder* med fjäderkonstanten k som förlängts (eller tryckts ihop) avståndet x :

$$W_{\text{fj}} = \frac{kx^2}{2}$$



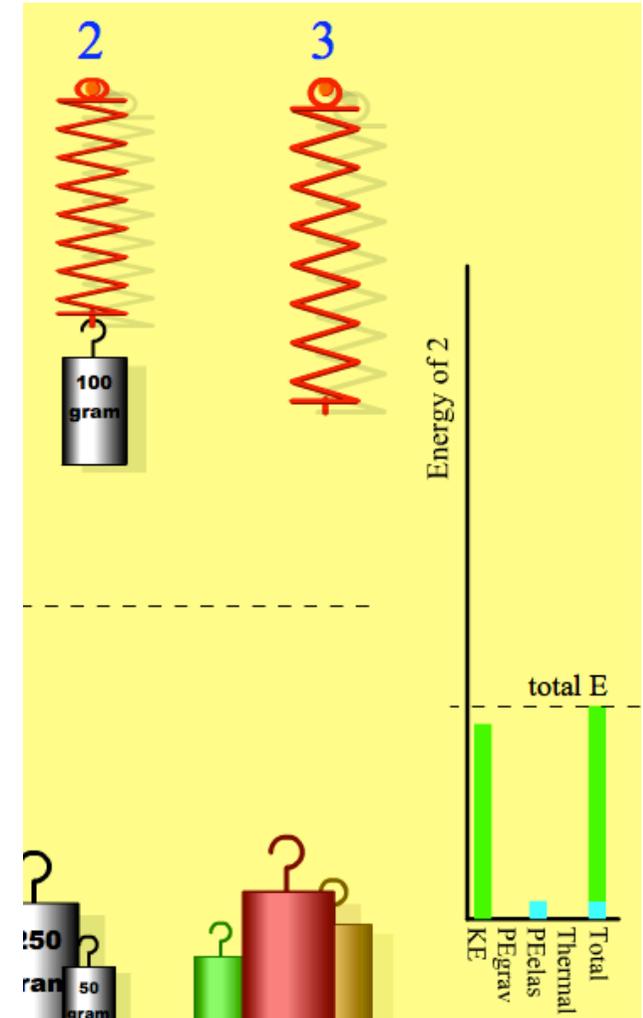
Härledning:

Arbetet som uträttas på en fjäder som följer Hookes lag och som dras ut (eller trycks ihop) avståndet x ges av

$$A = \overline{F}s = \underbrace{\frac{0 + kx}{2}}_{\text{medelkraften}} \cdot x = \frac{kx^2}{2}$$

Fjäders elastiska energi ökar med lika mycket. Om elastiska energin sätts till noll när $x = 0$ ges således elastiska energin av

$$W_{\text{fj}} = \frac{kx^2}{2}$$

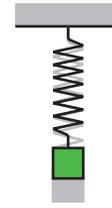
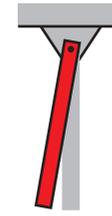


<http://phet.colorado.edu/en/simulation/mass-spring-lab>

* Egentligen vilket föremål som helst som följer Hookes lag.

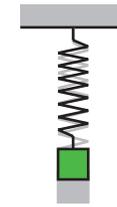
Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



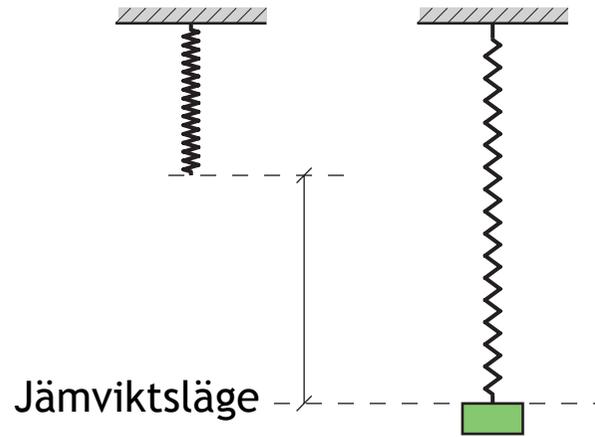
Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



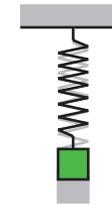
3

Vikt i fjäder



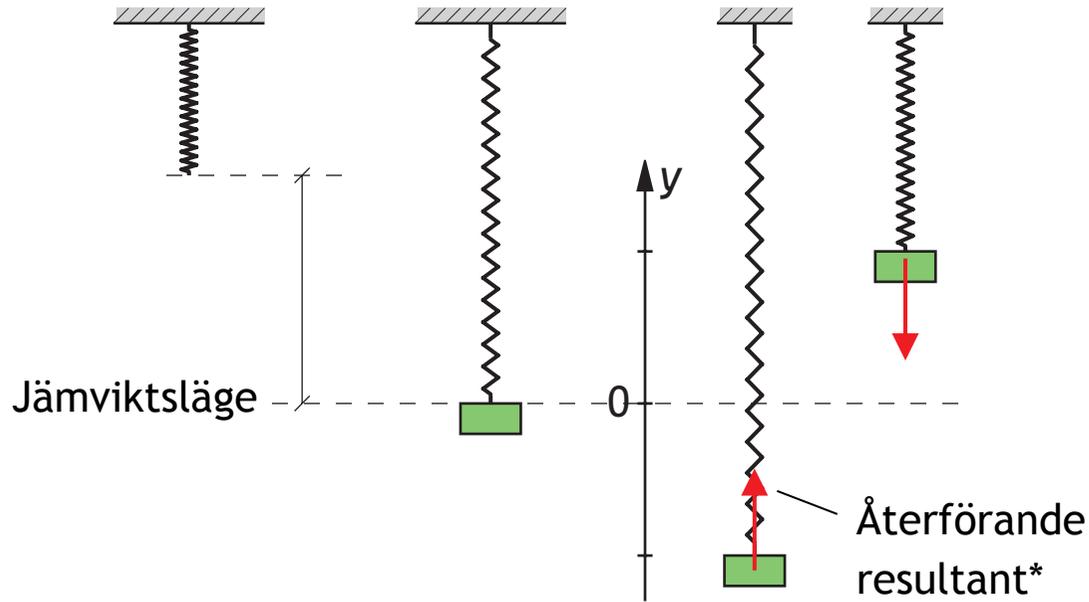
Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



3

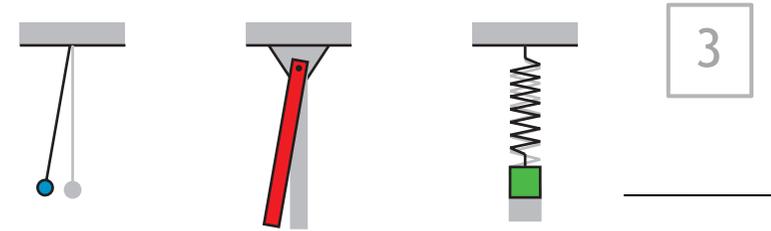
Vikt i fjäder



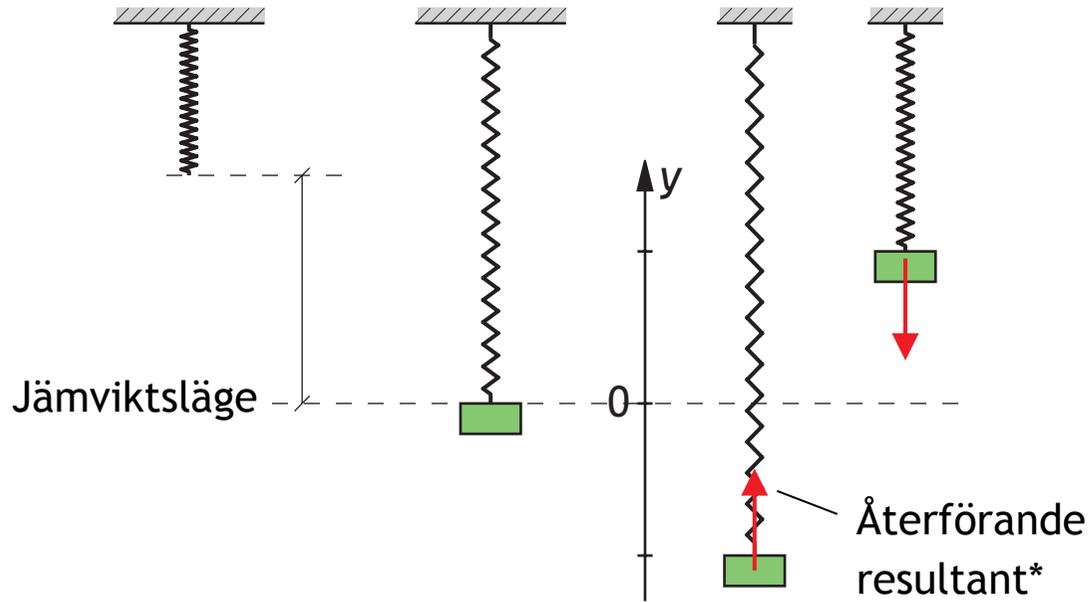
* vektorsumman av tyngdkraft och kraft från fjäder

Svängningsrörelse

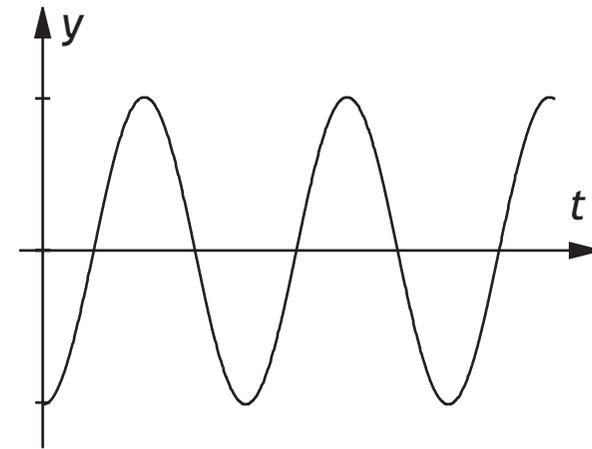
(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



Vikt i fjäder



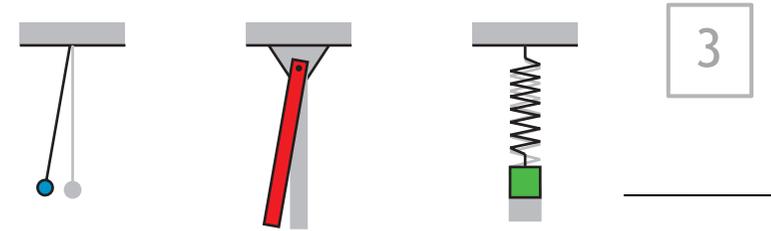
utslag, elongation
(avstånd från jämviktsläget)



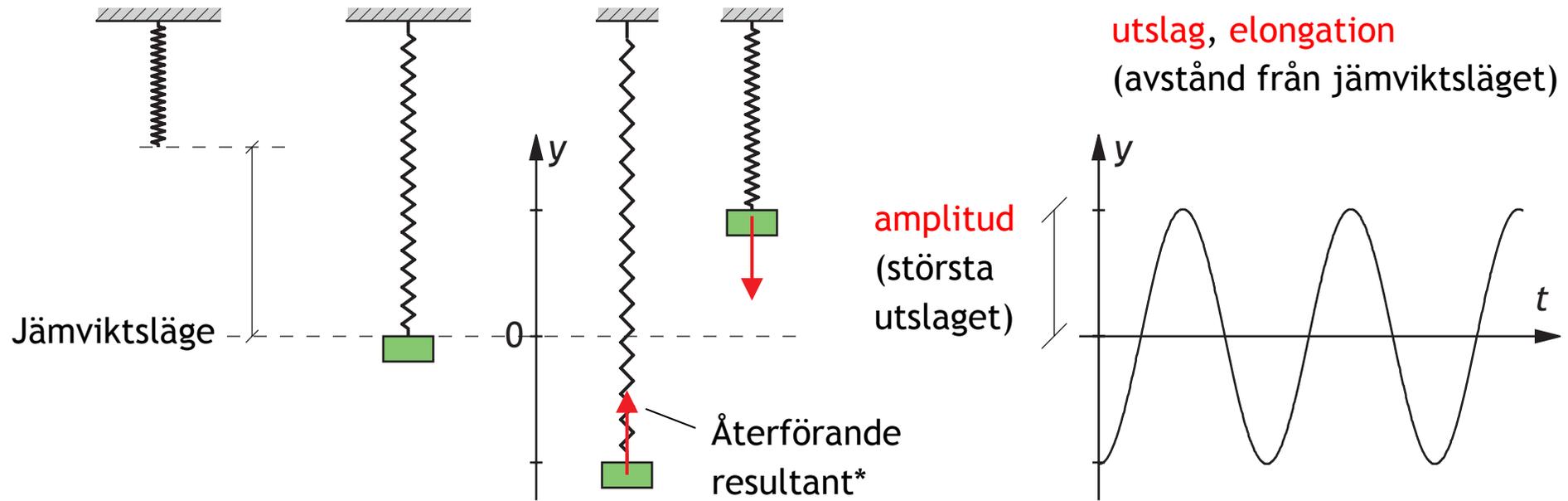
* vektorsumman av tyngdkraft och kraft från fjäder

Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



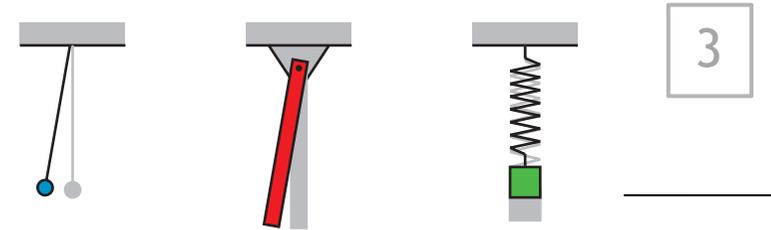
Vikt i fjäder



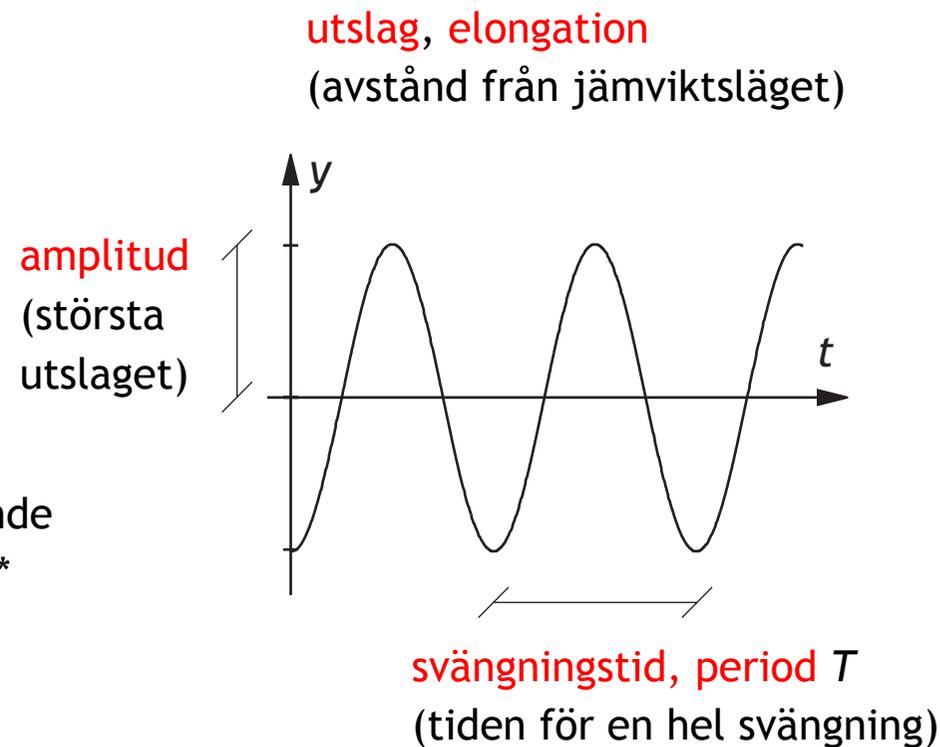
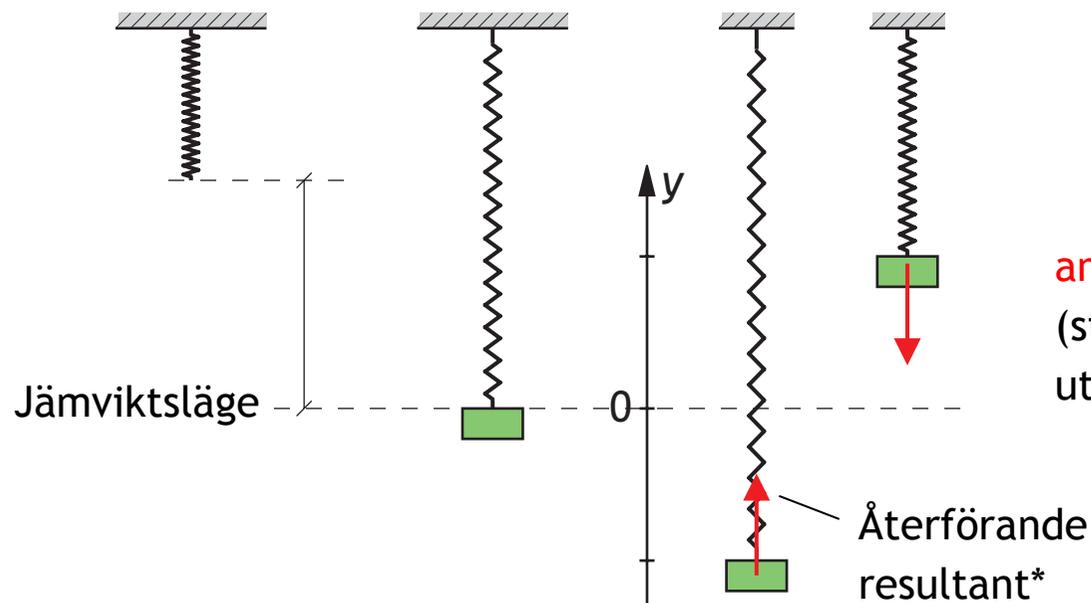
* vektorsumman av tyngdkraft och kraft från fjäder

Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)



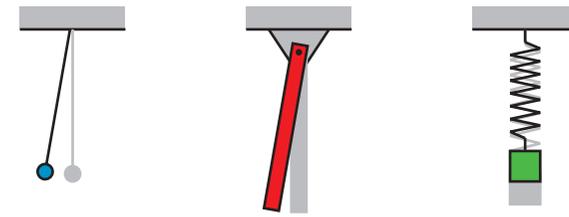
Vikt i fjäder



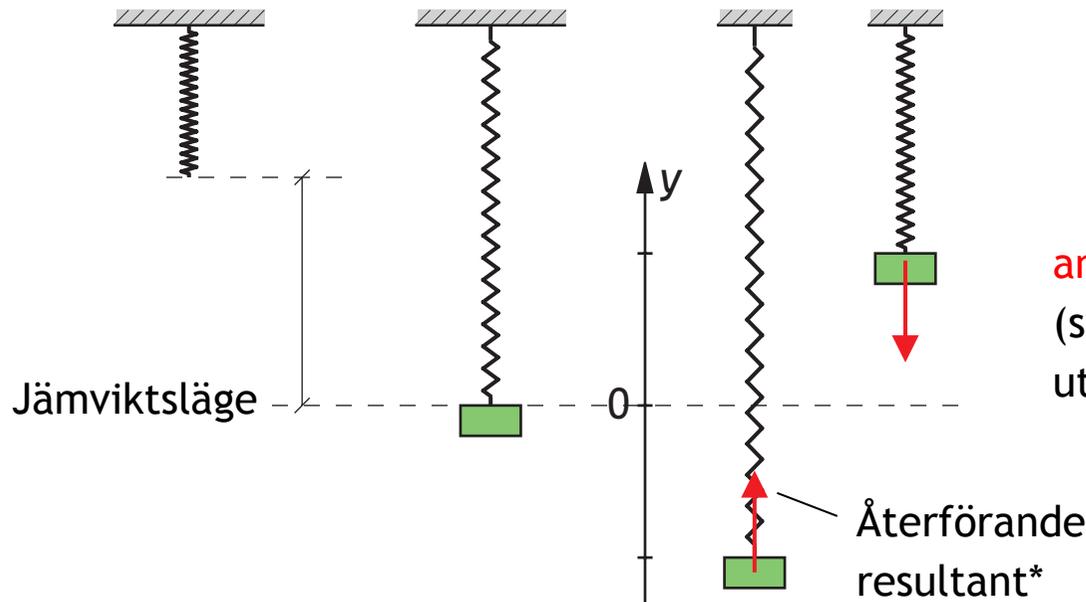
* vektorsumman av tyngdkraft och kraft från fjäder

Svängningsrörelse

(periodisk rörelse mellan två ytterlägen)

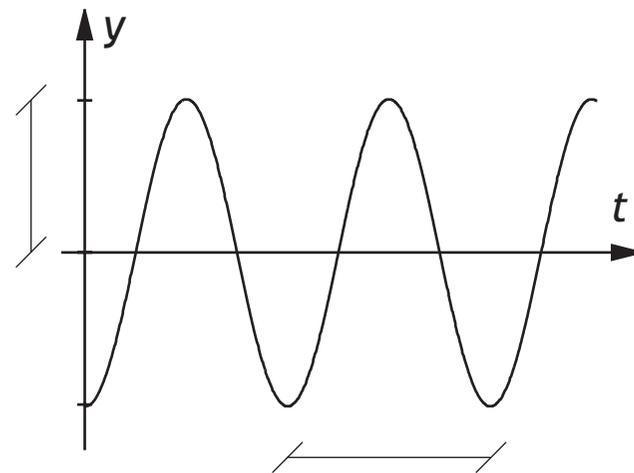


Vikt i fjäder



utslag, elongation
(avstånd från jämviktsläget)

amplitud
(största utslaget)



svängningstid, period T
(tiden för en hel svängning)

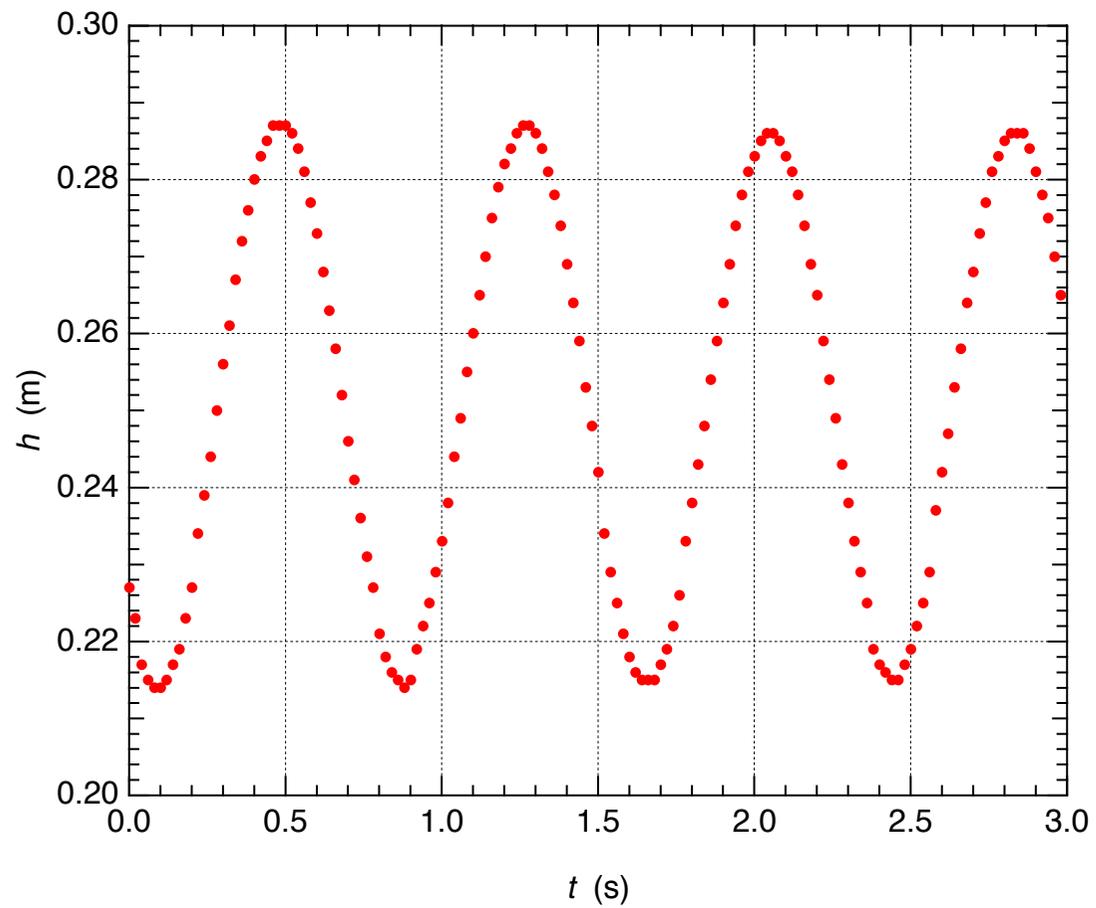
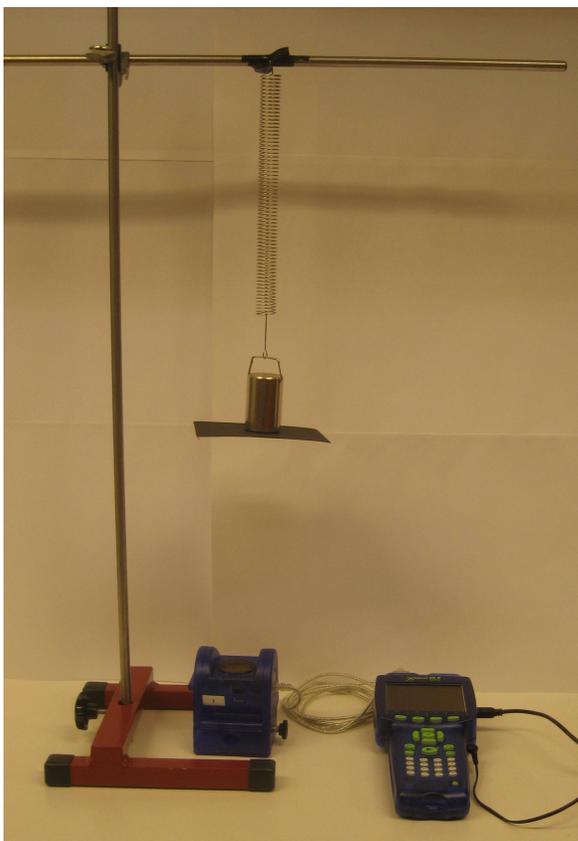
Frekvens (antal svängningar per sekund (tidsenhet))

$$f = \frac{1}{T}$$

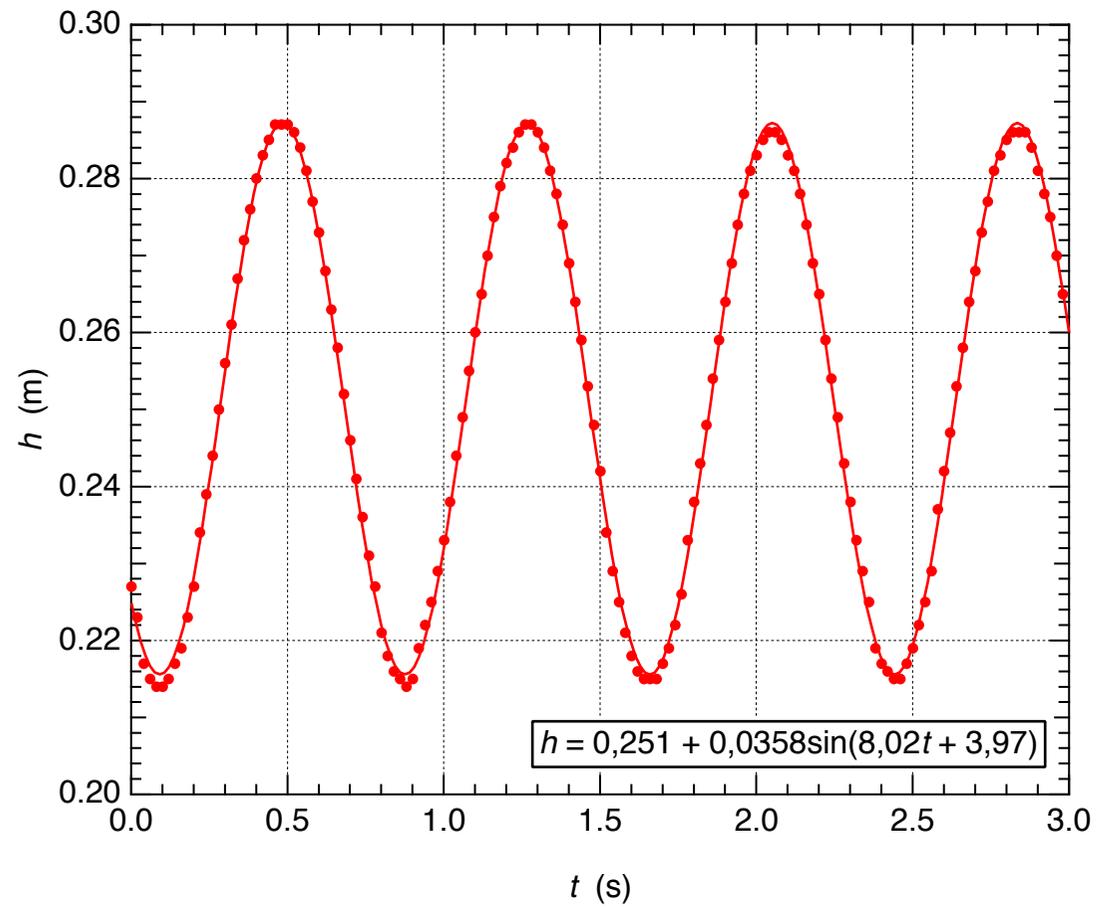
SI-enhet: $1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$

* vektorsumman av tyngdkraft och kraft från fjäder

Svängningsrörelse på riktigt



Svängningsrörelse på riktigt



Matematisk beskrivning av harmonisk svängningsrörelse

Resonans

(frekvensen systemet har vid fria svängningar)

Varje system (t.ex. vikt i fjäder, pendel, ben, bilmotor, Ullevi) har en eller flera **egenfrekvenser** (f_{egen})

Tillförs energi med samma frekvens som $f_{\text{egen}} \implies$ stora svängningar (**resonans**).



[2]



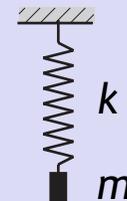
[3]



[4]

Ex: Vikt i fjäder

$$f_{\text{egen}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$



Ex: Matematisk pendel

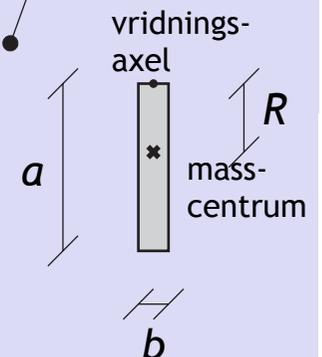
$$f_{\text{egen}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

(små utslagsvinklar, mkt lätt snöre, mkt liten kula)



Ex: Svängande rätblock

$$f_{\text{egen}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3gR}{4a^2 + b^2}}$$



Vågor

Puls: störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett **medium** eller fält.

Våg: periodisk störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett medium eller fält.

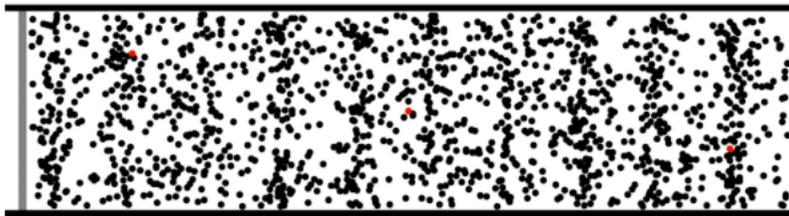
Vågor

Puls: störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett **medium** eller fält.

Våg: periodisk störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett medium eller fält.

Longitudinell puls/våg

vågens utbredningsriktning



©2011, Dan Russell



partiklar svänger **parallellt**
med utbredningsriktningen

[http://www.acs.psu.edu/drussell/
Demos/waves/wavemotion.html](http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html)

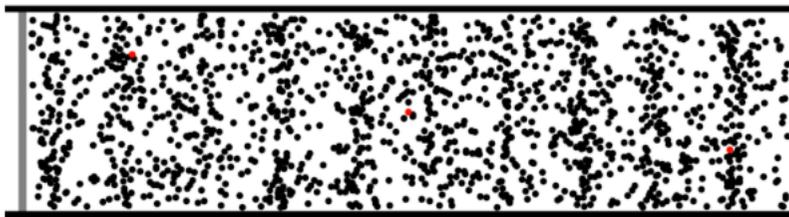
Vågor

Puls: störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett **medium** eller fält.

Våg: periodisk störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett medium eller fält.

Longitudinell puls/våg

vågens utbredningsriktning



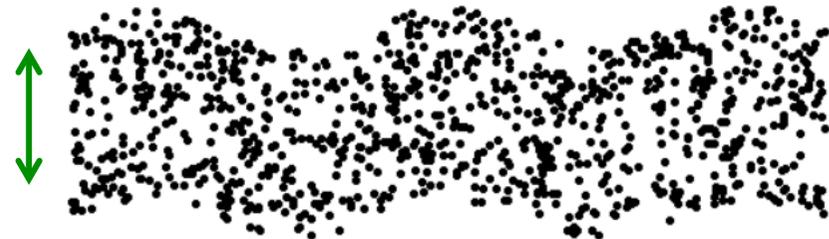
©2011, Dan Russell



partiklar svänger **parallellt**
med utbredningsriktningen

Transversell puls/våg

vågens utbredningsriktning



partiklar svänger
vinkelrätt mot
utbrednings-
riktningen

<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>

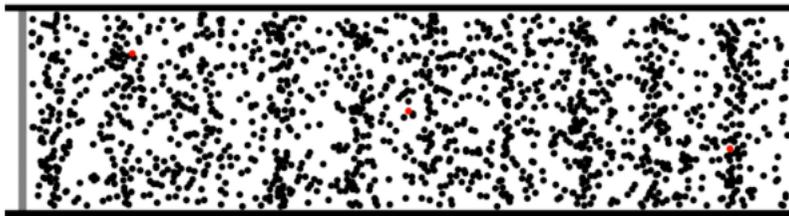
Vågor

Puls: störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett **medium** eller fält.

Våg: periodisk störning som (via svängningsrörelser) utbreder sig i ett medium eller fält.

Longitudinell puls/våg

vågens utbredningsriktning



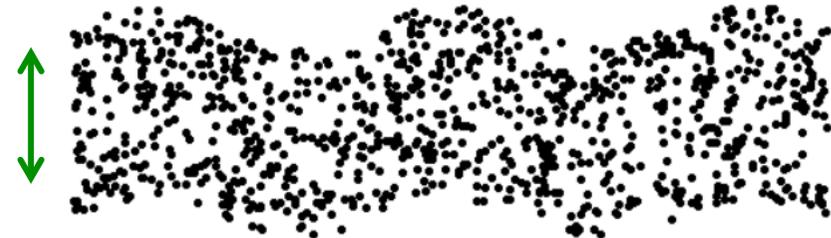
©2011. Dan Russell



partiklar svänger **parallellt**
med utbredningsriktningen

Transversell puls/våg

vågens utbredningsriktning



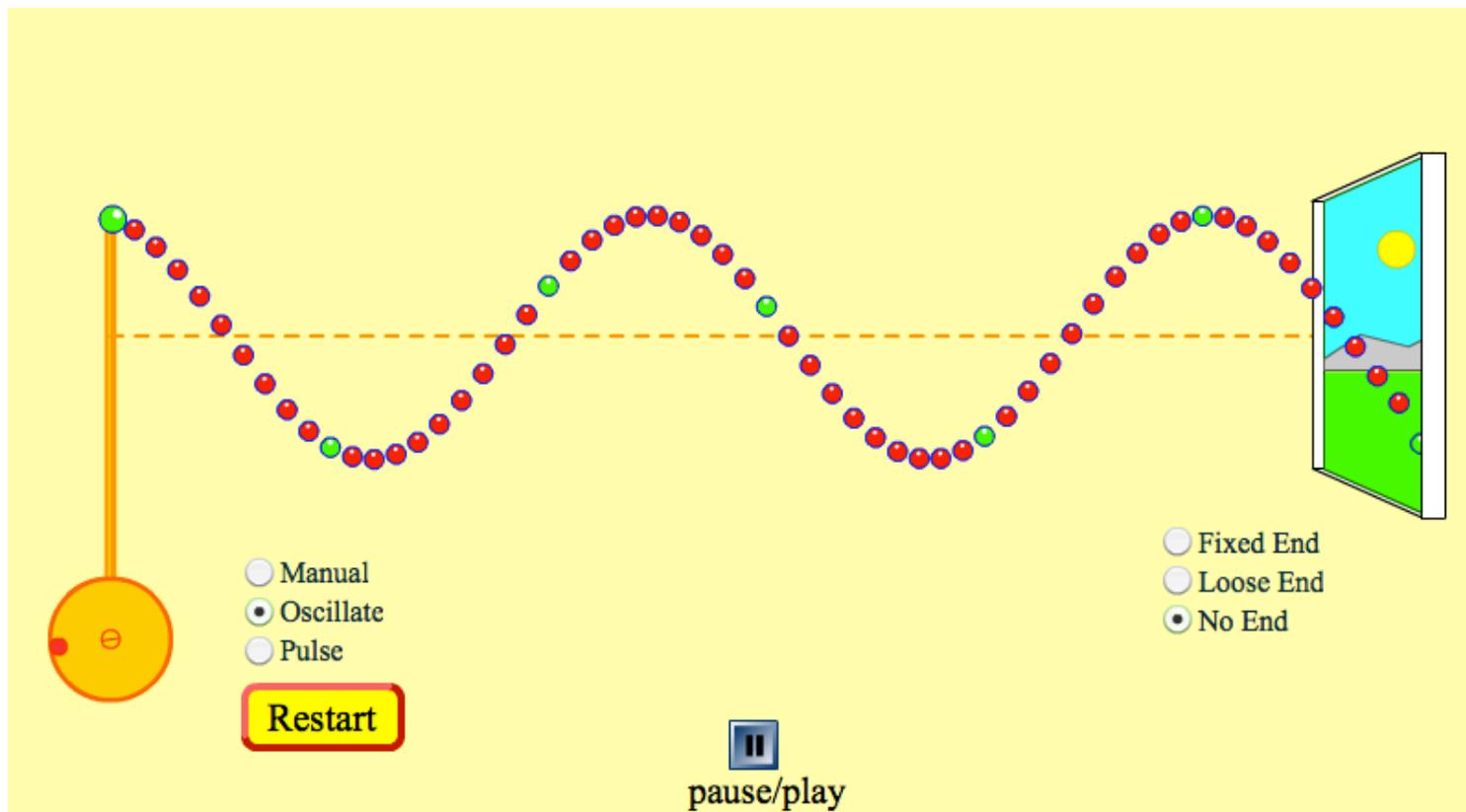
partiklar svänger
vinkelrätt mot
utbrednings-
riktningen

<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>



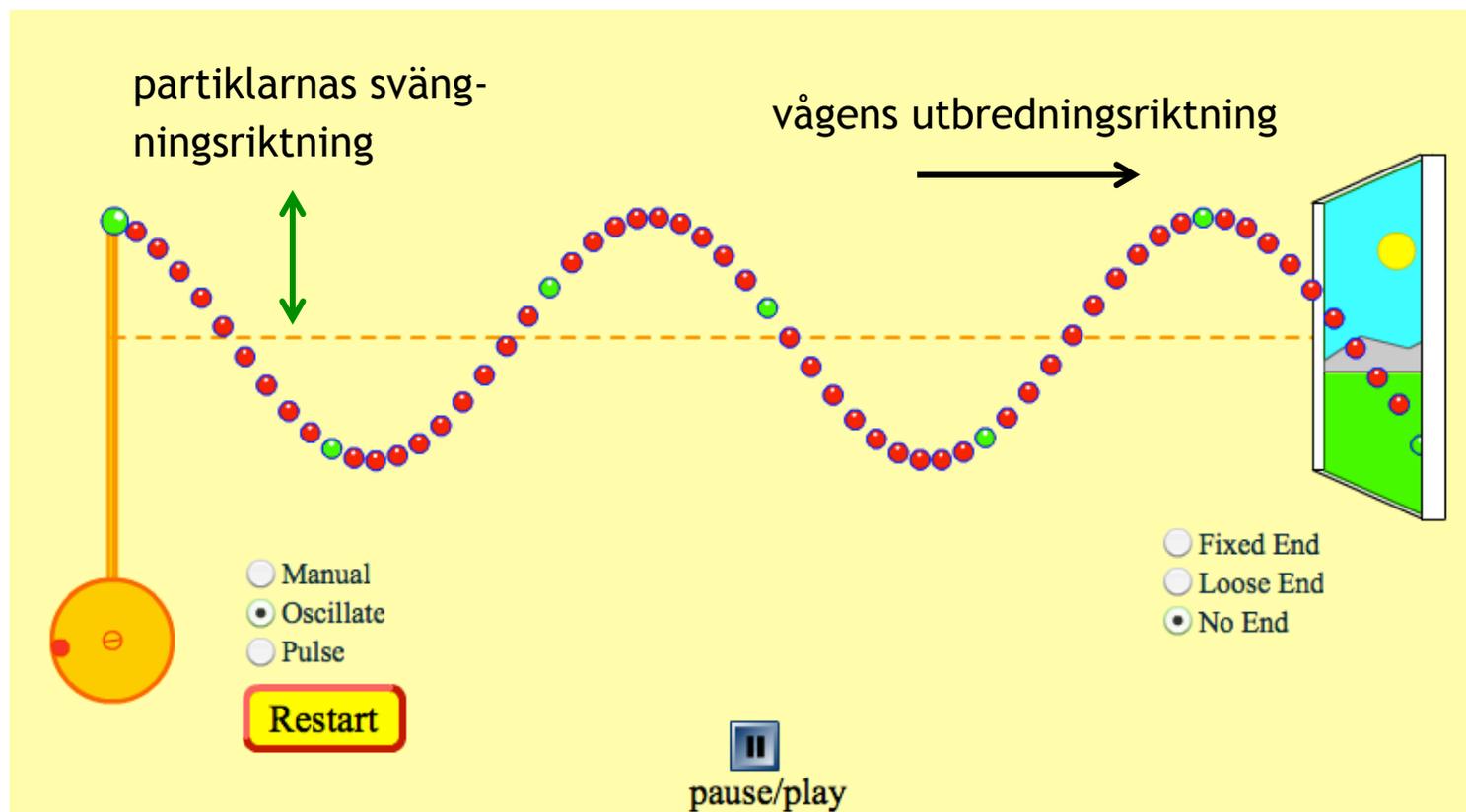
En puls eller våg transporterar energi! (Ingen materietransport.)

Transversell vågrörelse (1D)



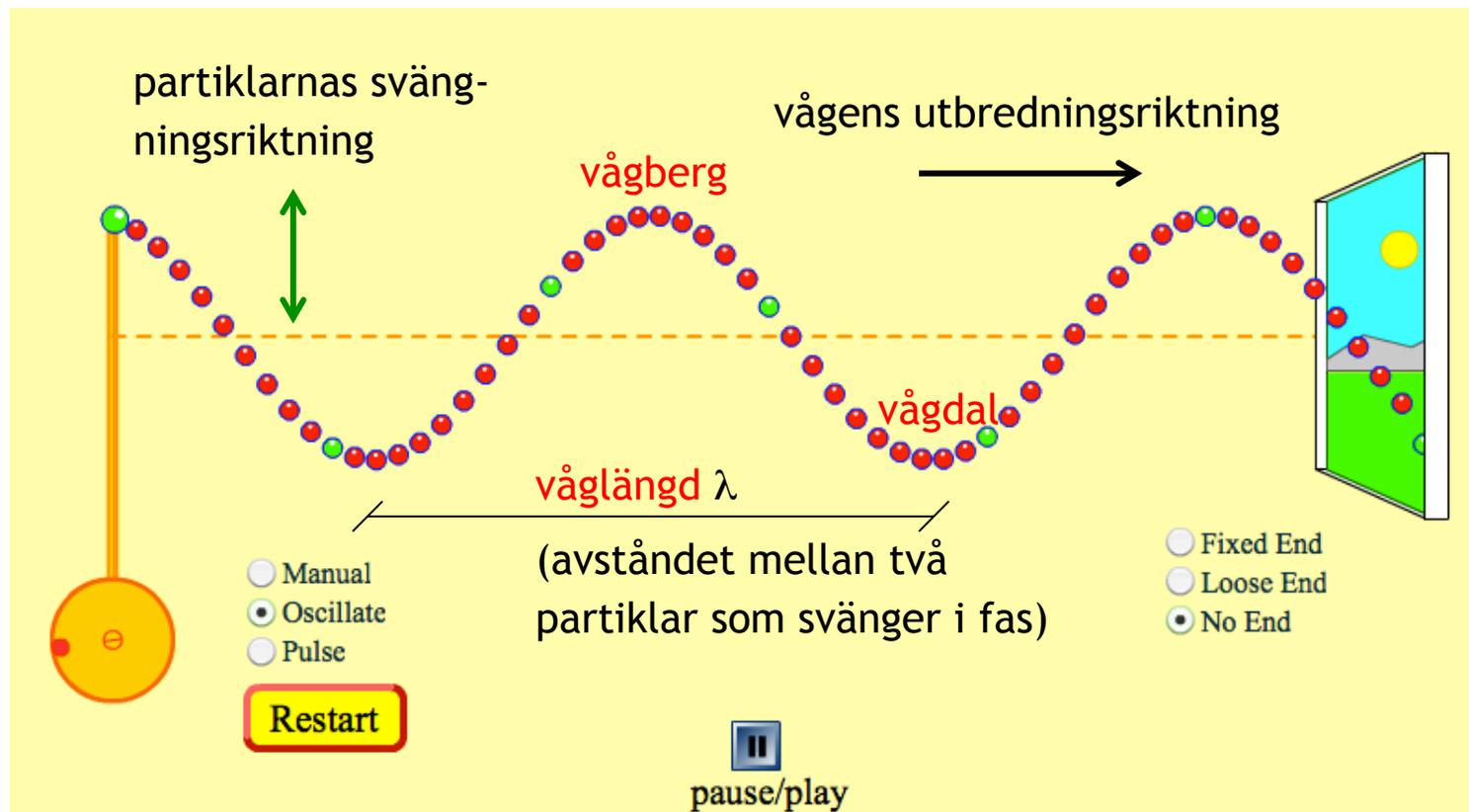
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

Transversell vågrörelse (1D)



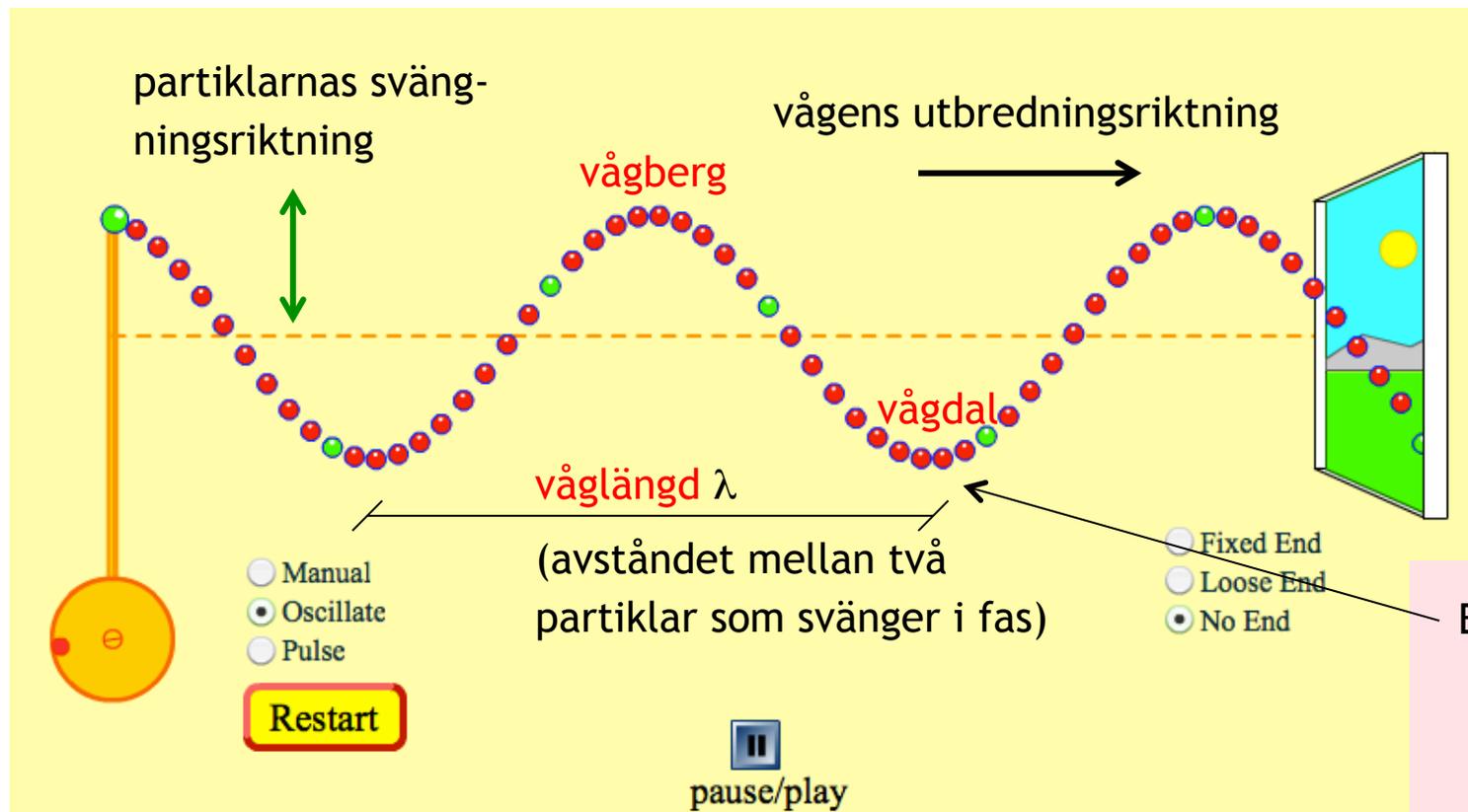
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

Transversell vågrörelse (1D)



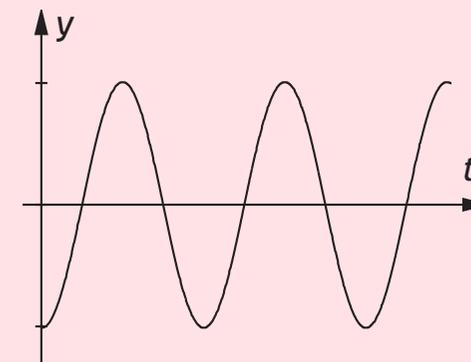
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

Transversell vågrörelse (1D)

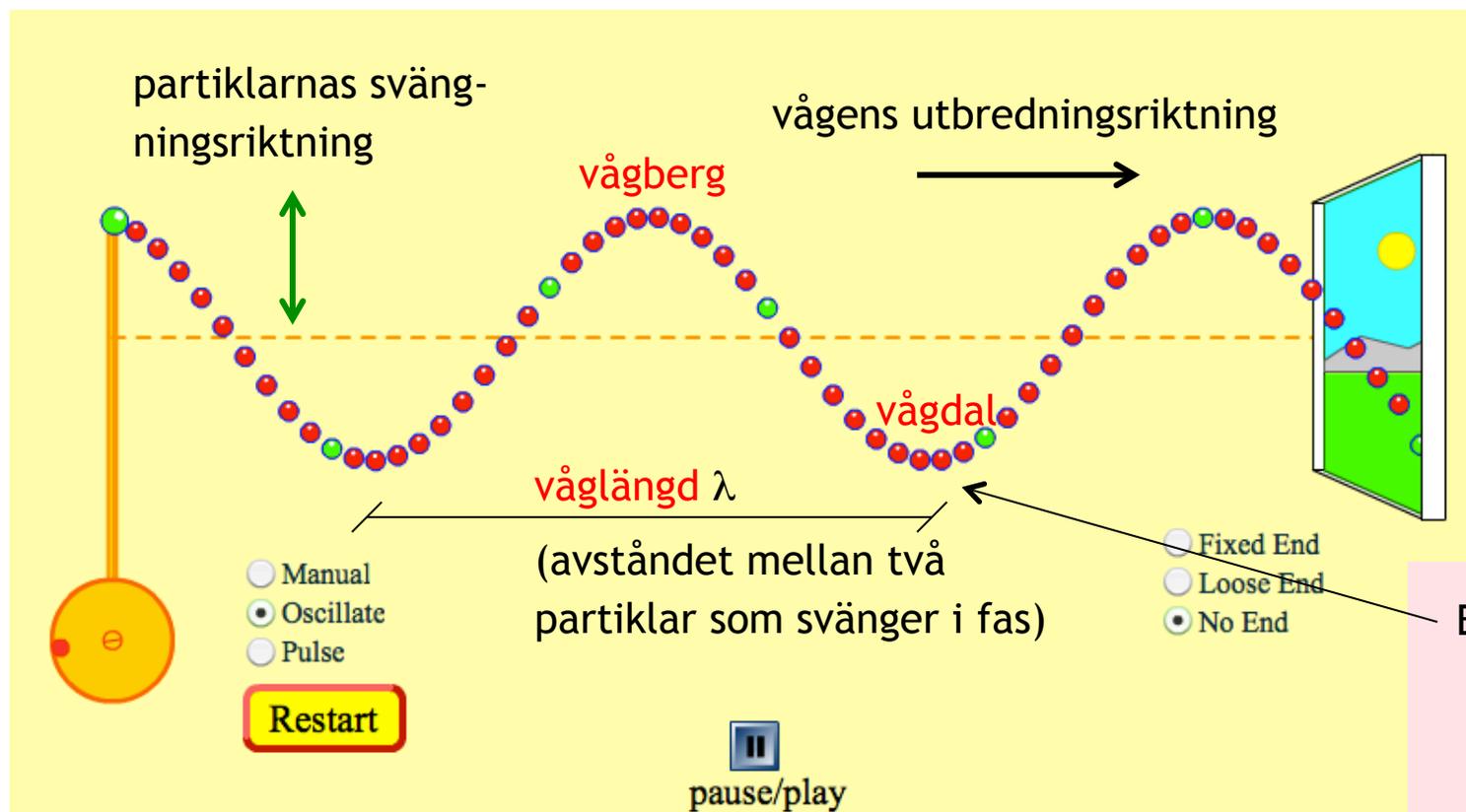


<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

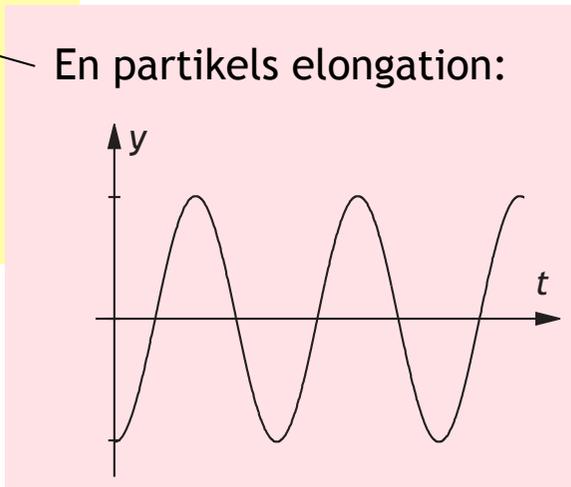
En partikels elongation:



Transversell vågrörelse (1D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>



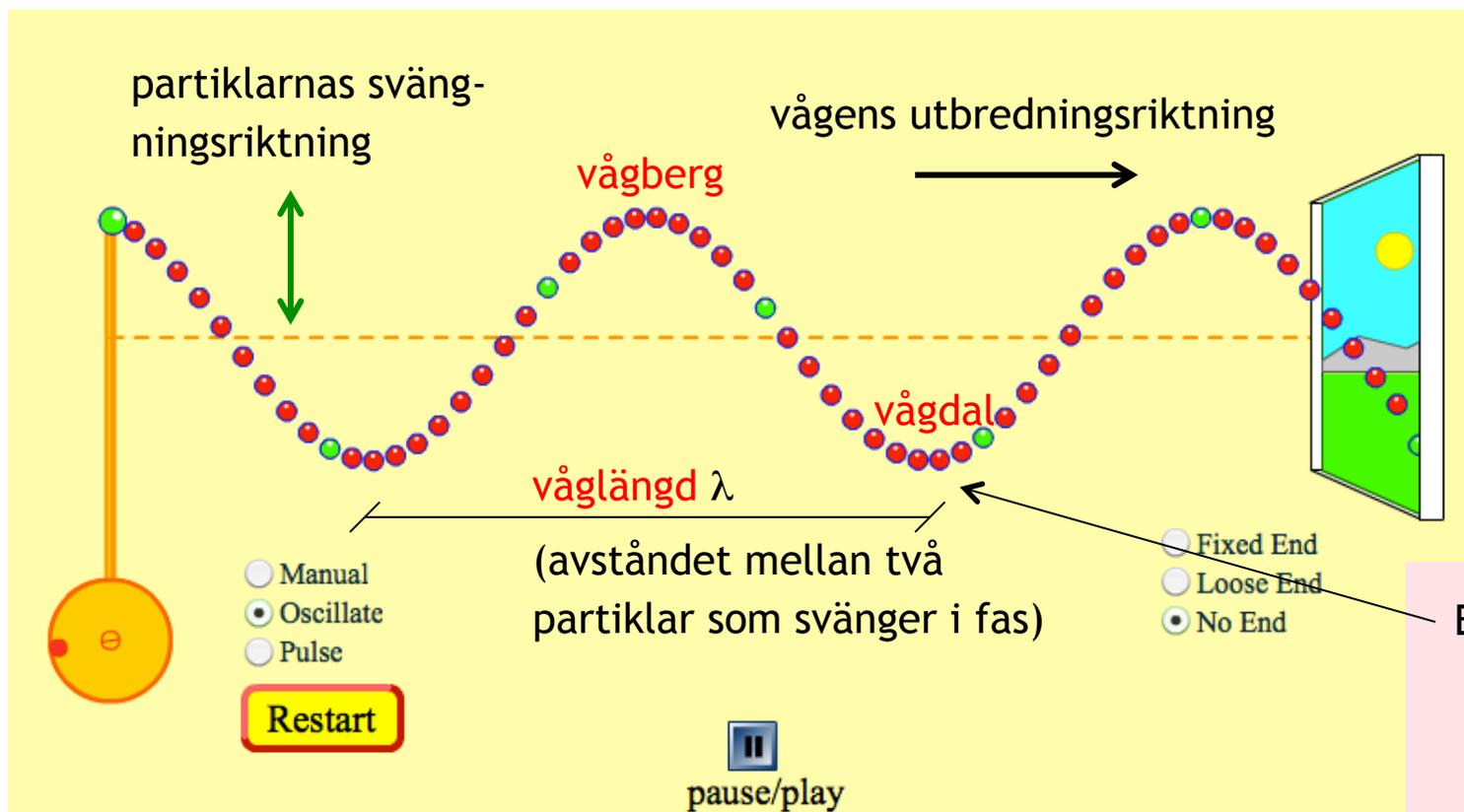
Vågens **utbredningsfart**

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

Härledning:
På tiden T förflyttar sig vågen λ .

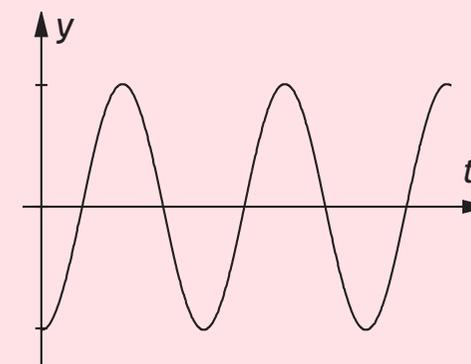
(Observera att perioden T alltså är både tiden för en hel svängning för en partikel och tiden det tar mellan det att två vågberg/förtätningar passerar.)

Transversell vågrörelse (1D)



f (eller T) bestäms av vågkällan.
 v (och därmed λ) bestäms av mediet.

En partikels elongation:



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

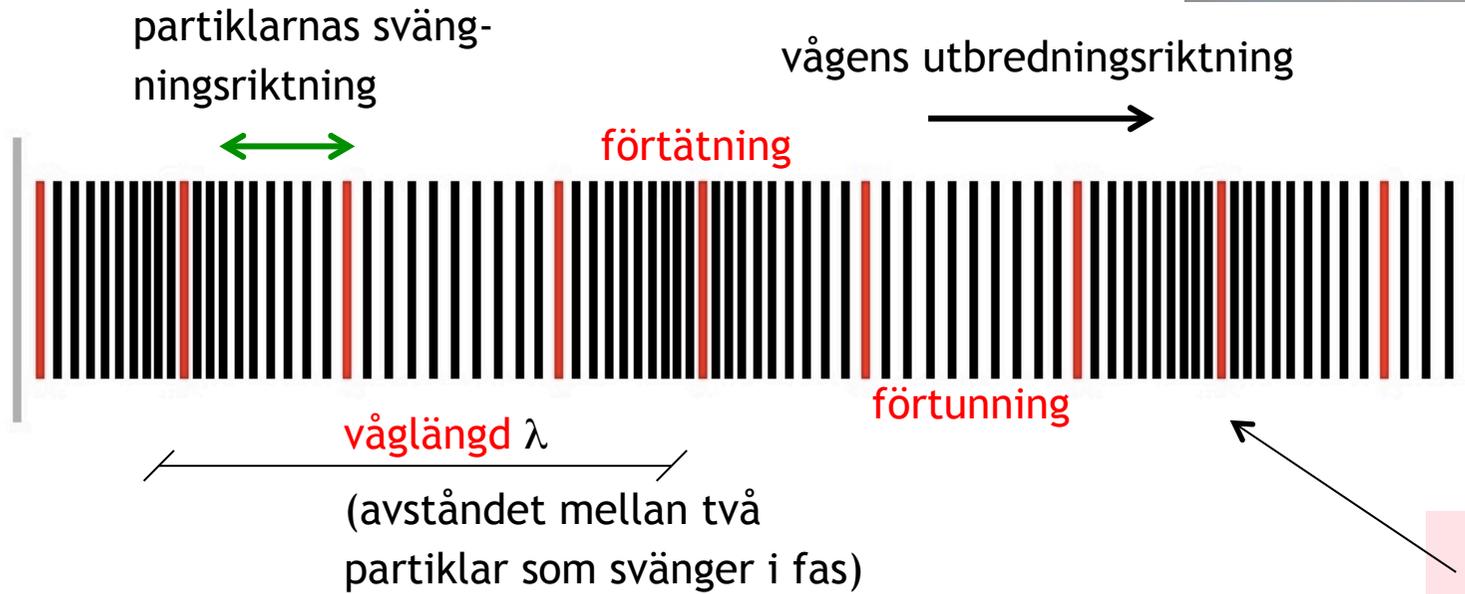
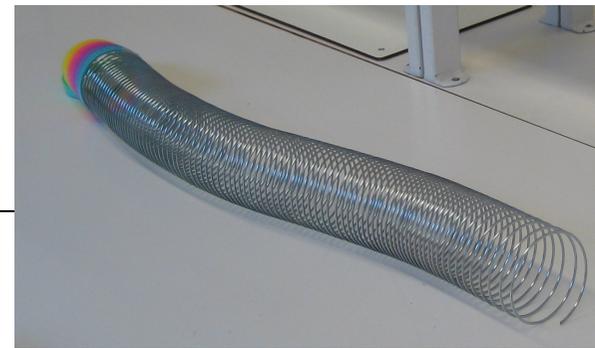
Vågens **utbredningsfart**

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

Härledning:
 På tiden T förflyttar sig vågen λ .

(Observera att perioden T alltså är både tiden för en hel svängning för en partikel och tiden det tar mellan det att två vågberg/förtätningar passerar.)

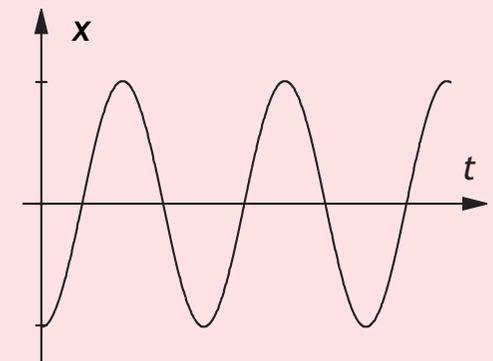
Longitudinell vågrörelse (1D)



f (eller T) bestäms av vågkällan.
 v (och därmed λ) bestäms av mediet.

<http://mattcraig.org/sims> [Mechanical waves]

En partikels elongation:



Vågens **utbredningsfart**

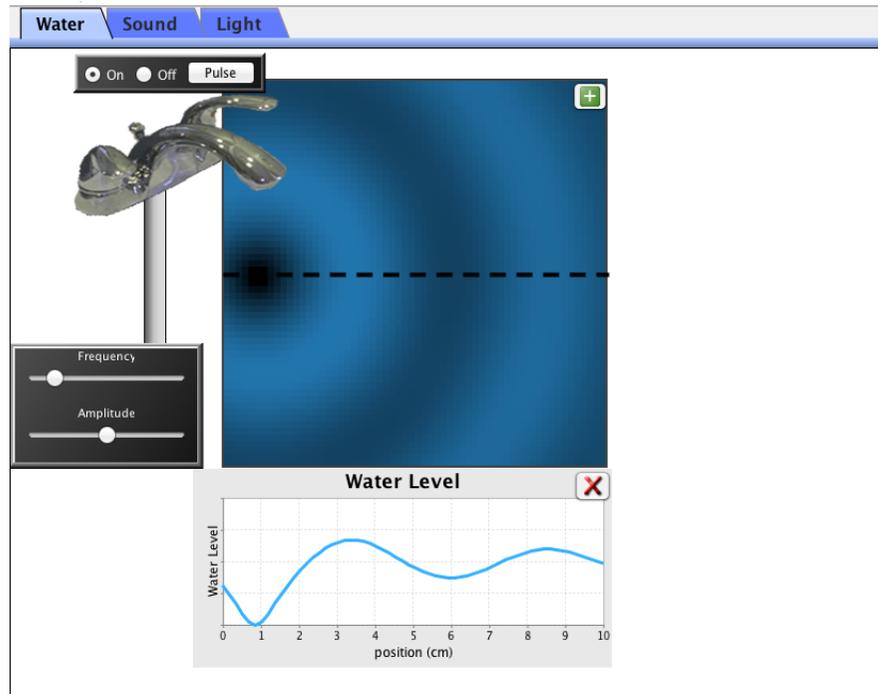
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Härledning:
 På tiden T förflyttar sig vågen λ .

(Observera att perioden T alltså är både tiden för en hel svängning för en partikel och tiden det tar mellan det att två vågberg/förtätningar passerar.)

Andra vågrörelser (2D)

Vattenvågor

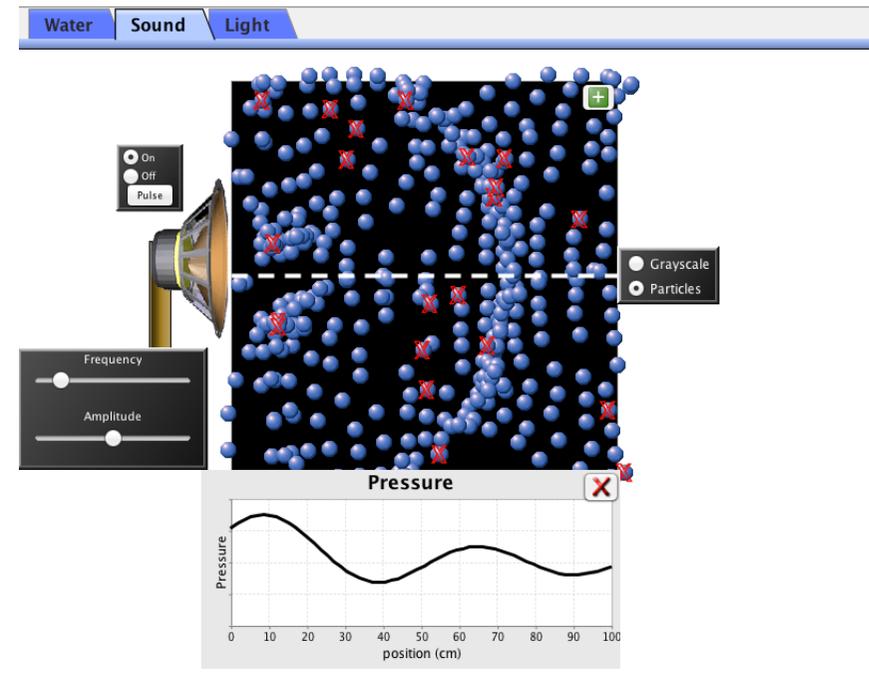


Kan antas vara transversell
(även om rörelsen i själva
verket är mer komplicerad).

Vågberg och vågdalar.

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

Ljudvågor

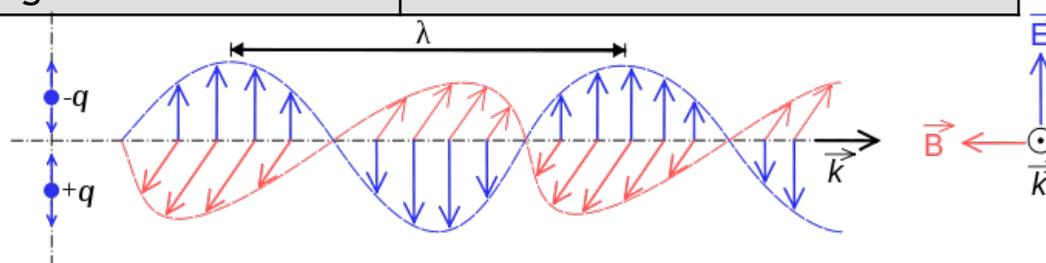


Longitudinell

Förtätningar och förtunningar.

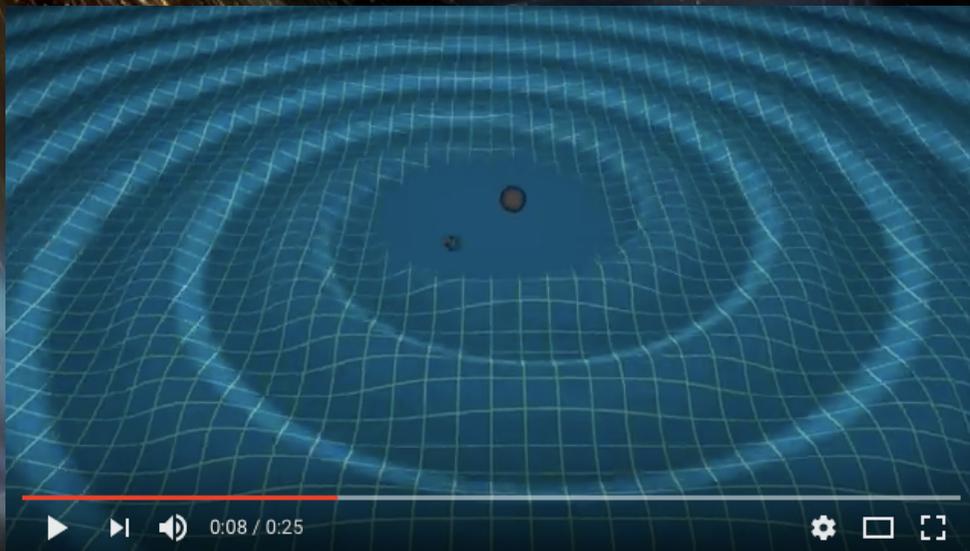
Exempel på olika vågrörelser

Vågfenomen	Transversell/ longitudinell?	Vad svänger?	Utbredningsfart
Klassrumsvågen	Transv. / Long.	Elever	ca 3 m/s
Tryckvåg i Slinky	Long.	Fjädersarv	Beror på spännkraft och massa per längdenhet [?]
Våg på sträng eller snöre eller fjäder	Transv.	Små sträng- eller snörsegment eller fjädersarv	Beror på spännkraft och massa per längdenhet
Ullevivågen	Transv.	Fotbollssupportrar	ca 10 m/s
Ljudvågor (i luft)	Long.	Små luftvolymmer (eg. molekyler)	340 m/s (vid rumstemperatur)
Ljudvågor (i stål)	Long.	Små materialvolymmer (eg. atomer)	5180 m/s
Vattenvågor	Varken eller	Små vattenvolymmer	[?, får återkomma om detta]
Ljus (i vakuum)	Transv.	Elektriska och magnetiska fält	299 792 458 m/s





Gravitationsvågor



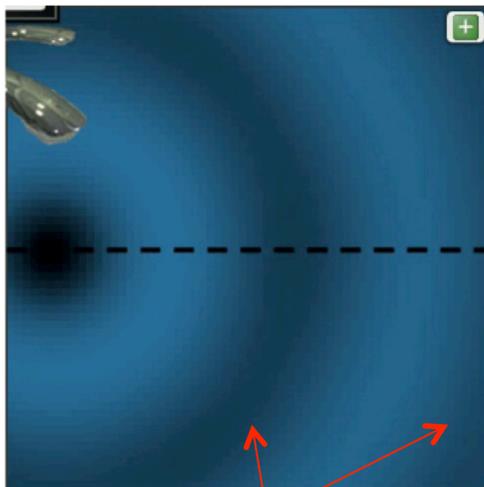
frequency at peak GW strain	155 to 203 Hz
wavelength at peak GW strain	1480 to 1930 km
peak GW luminosity	$3.2 \text{ to } 4.2 \times 10^{56} \text{ erg s}^{-1}$
radiated GW energy	2.4 to 3.1 $M_{\odot} c^2$

[7a]

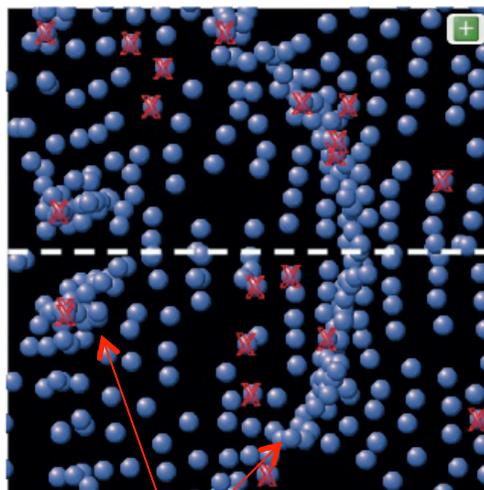
[7b]

[7]

Att rita vågor i 2D

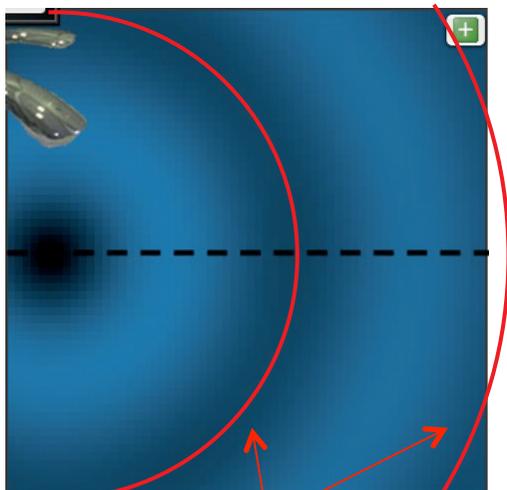


Vågberg

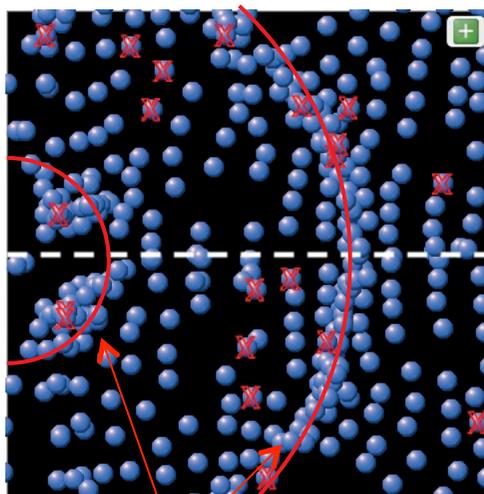


Förtätningar

Att rita vågor i 2D

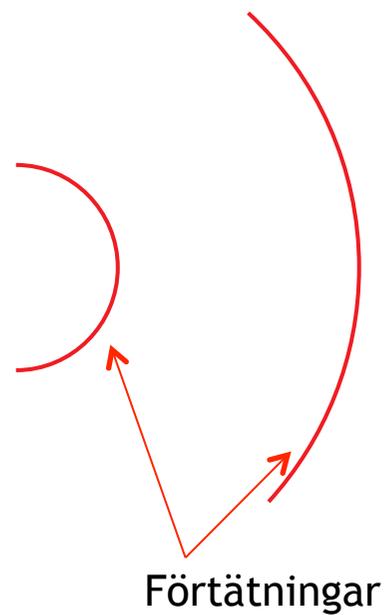
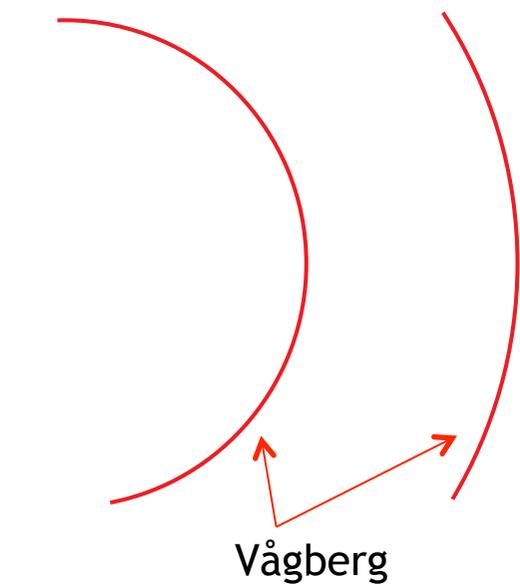


Vågberg

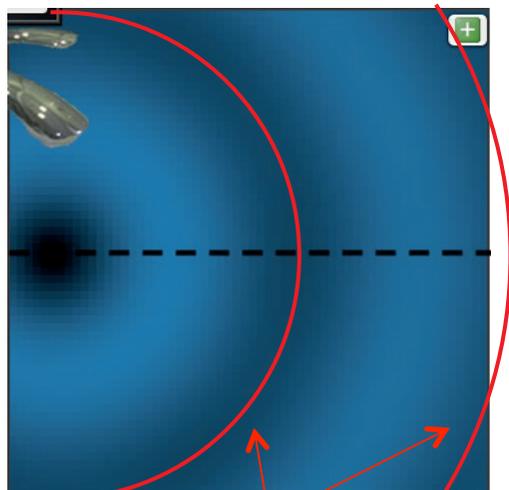


Förtätningar

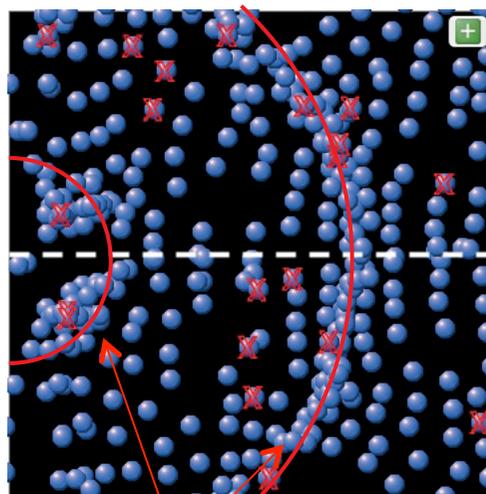
Att rita vågor i 2D



Att rita vågor i 2D



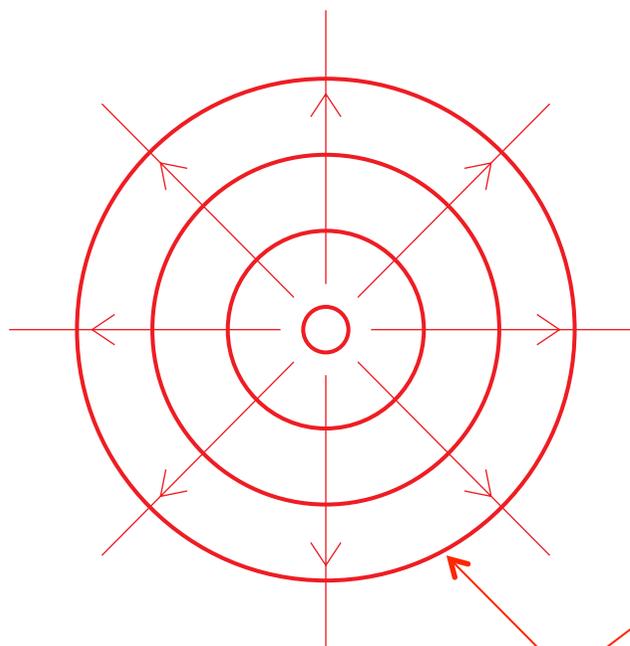
Vågberg



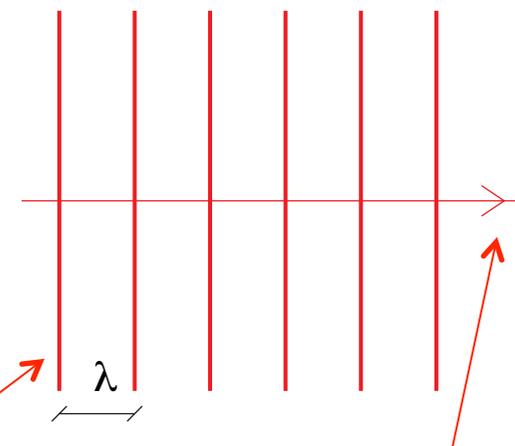
Förtätningar

Två typfall:

Cirkulär våg



Plan våg



Vågberg / förtätning *

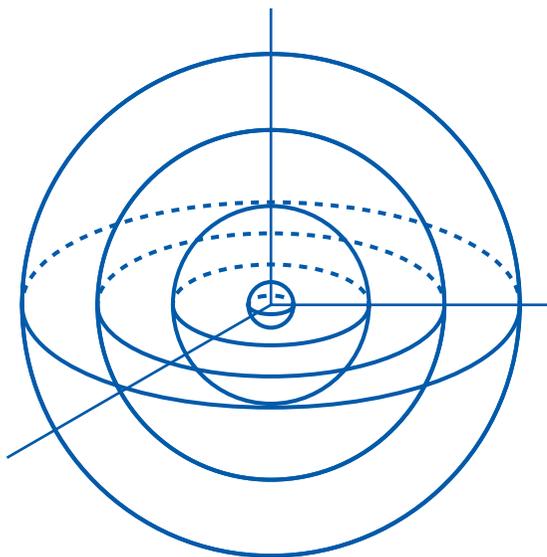
Utbrednings-
riktning

* egentligen vågfront

Vågor i 3D

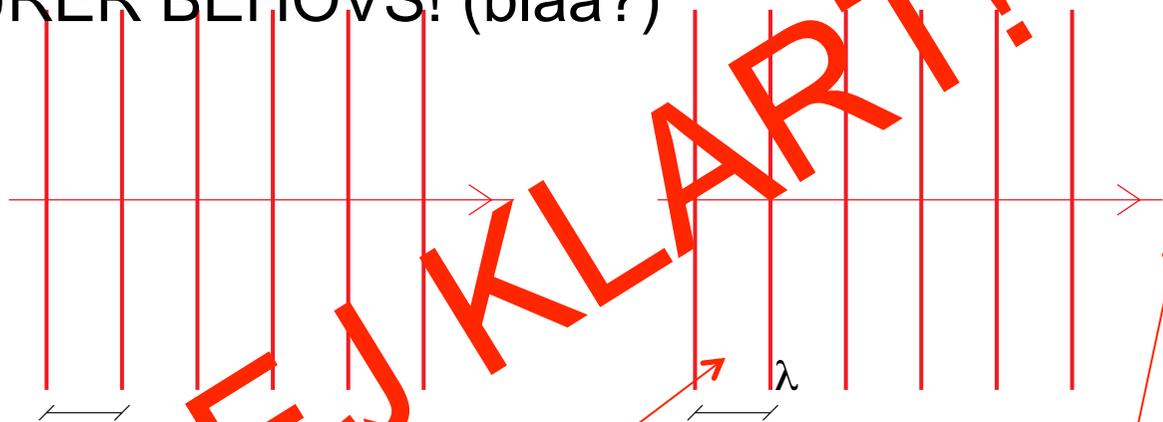
Tre typfall:

Sfärisk våg



Cylindrisk våg

FIGURER BEHÖVS! (blåa?)



Vågberg / förtätning *

Utbrednings-
riktning

EJ KLART!

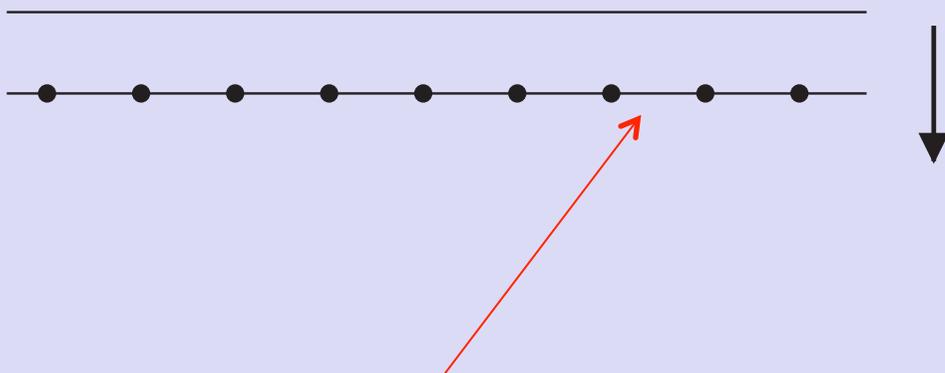
* egentligen vågfront







Huygens princip - en modell för vågutbredning



Varje punkt på en vågfront



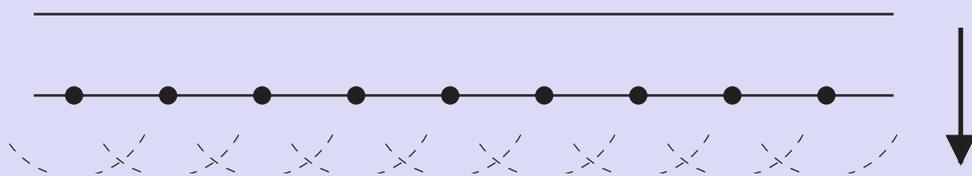
[9]



Christian
Huygens

[9]

Huygens princip - en modell för vågutbredning



Varje punkt på en **vågfront** tänkes fungera som en källa för cirkulära **sekundärvågor**.



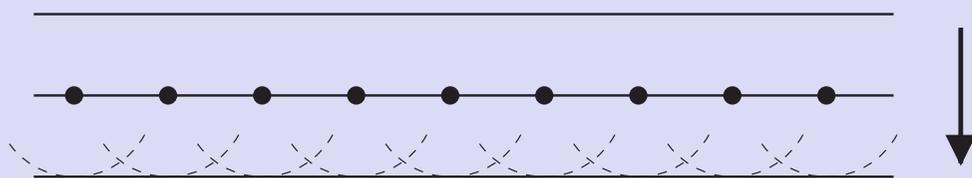
[9]



Christian Huygens

[9]

Huygens princip - en modell för vågutbredning



Varje punkt på en **vågfront** tänkes fungera som en källa för cirkulära **sekundärvågor**.
Enveloppen till sekundärvågorna (kurvan som tangerar samtliga sekundärvågor)



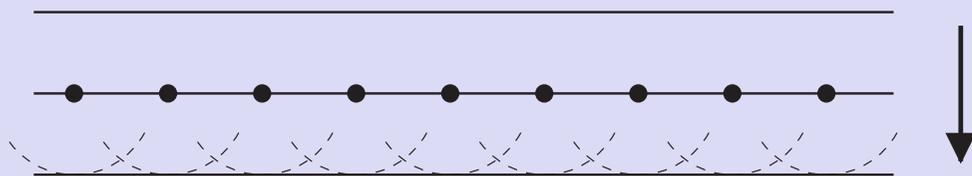
[9]



Christian Huygens

[9]

Huygens princip - en modell för vågutbredning



Varje punkt på en **vågfront** tänkes fungera som en källa för cirkulära **sekundärvågor**.
Enveloppen till sekundärvågorna (kurvan som tangerar samtliga sekundärvågor) ger **vågfrontens utseende vid någon senare tidpunkt**.

Ofta ritar man hur sekundärvågorna ser ut efter en period (T). Då ser det ut som ovan!



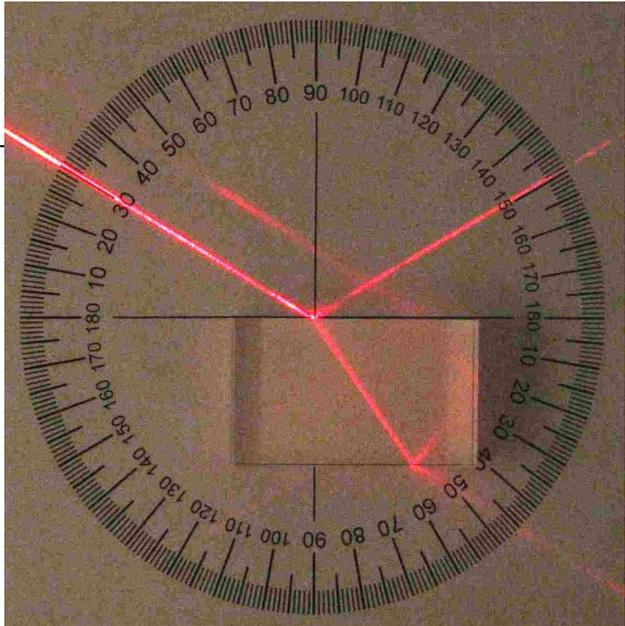
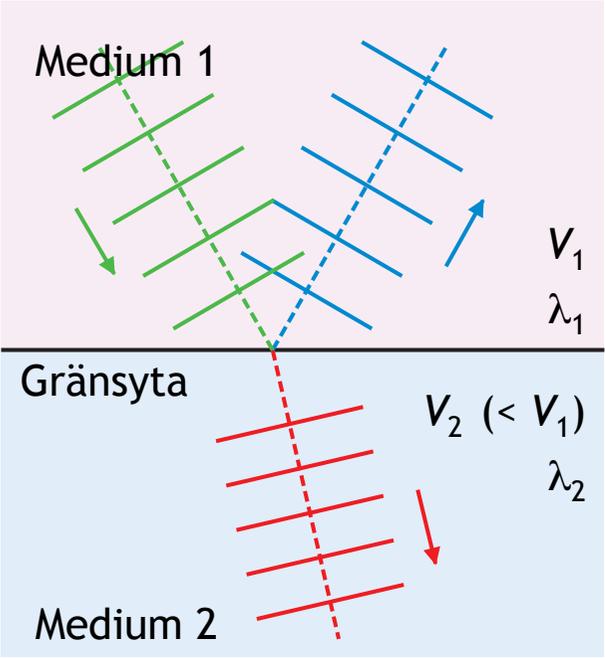
[9]



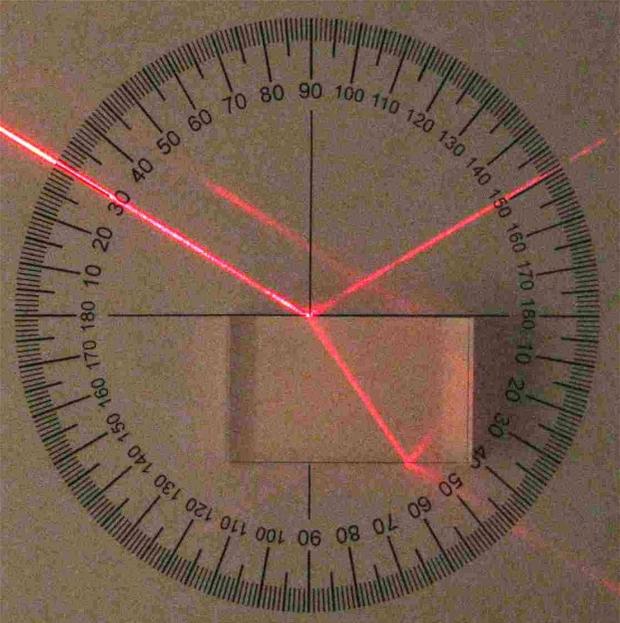
Christian Huygens

[9]

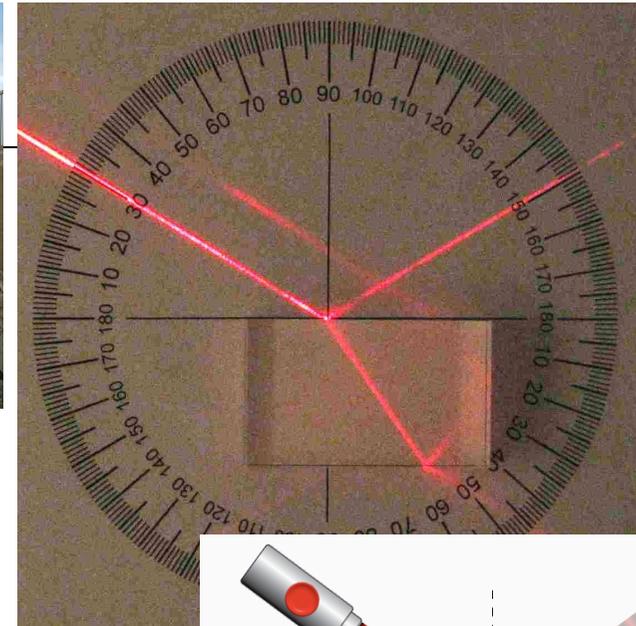
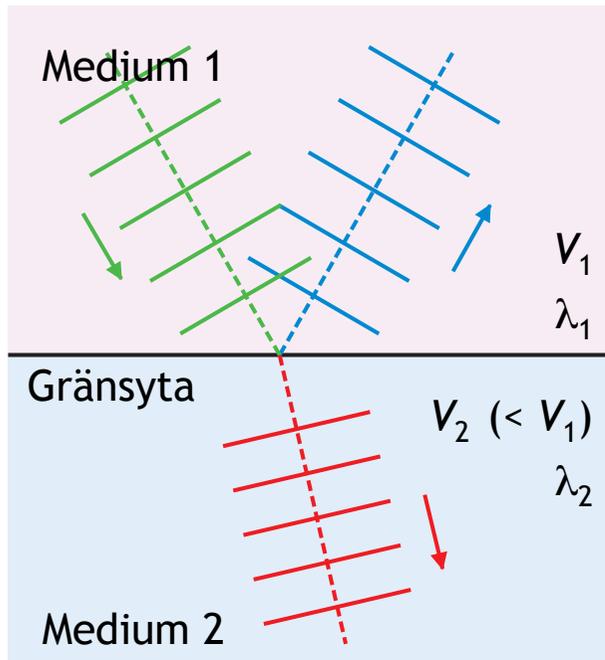
Reflektion och brytning



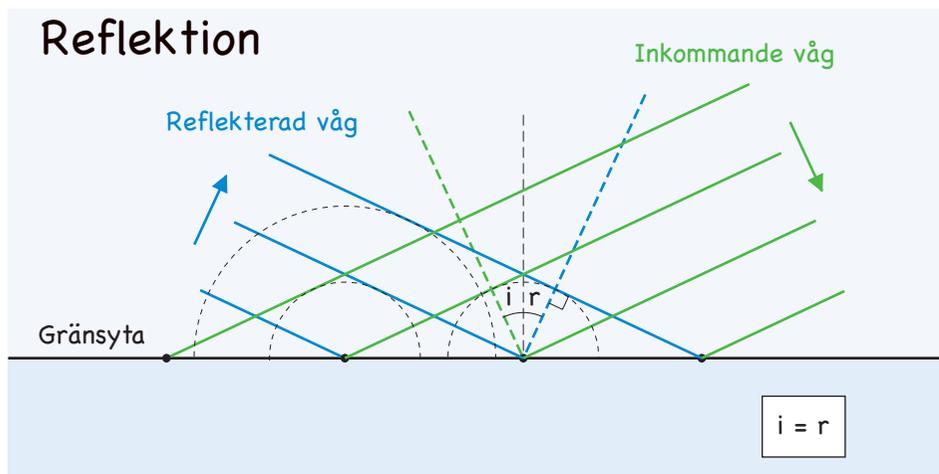
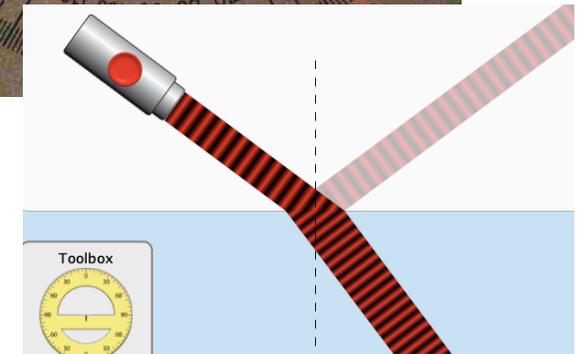
Samma frekvens!
 f beror på vågkällan
 v (och därmed λ) beror på medium



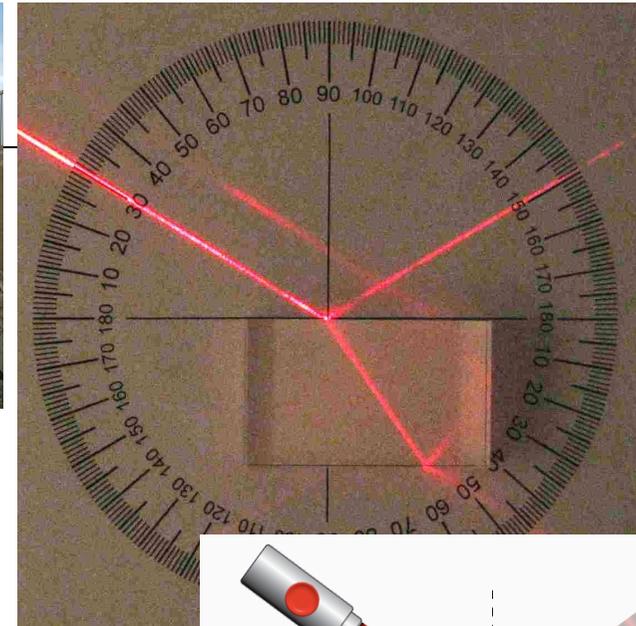
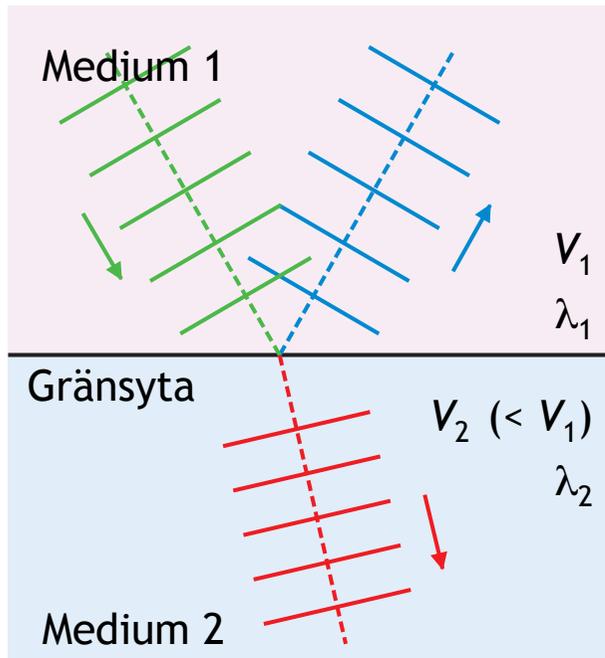
Reflektion och brytning



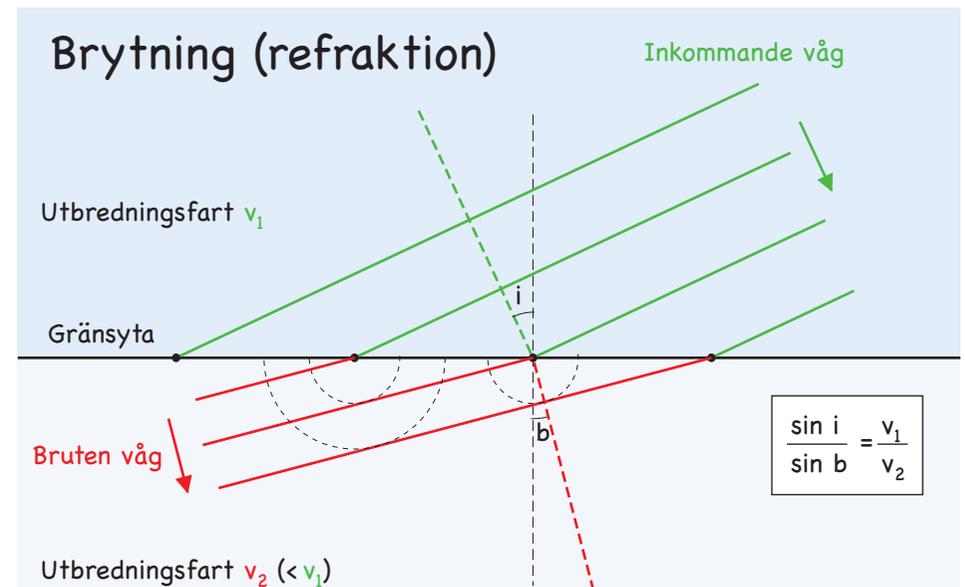
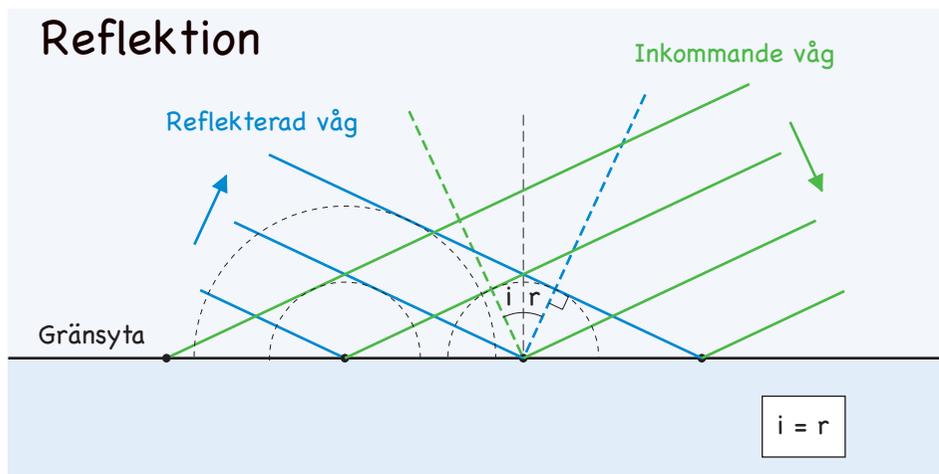
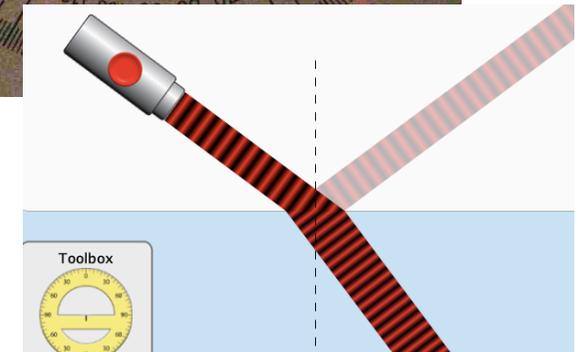
Samma frekvens!
 f beror på vågkällan
 v (och därmed λ) beror på medium



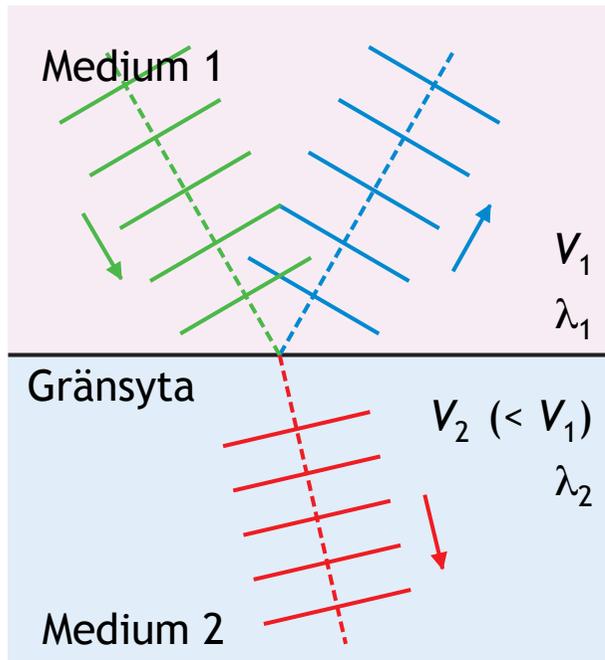
Reflektion och brytning



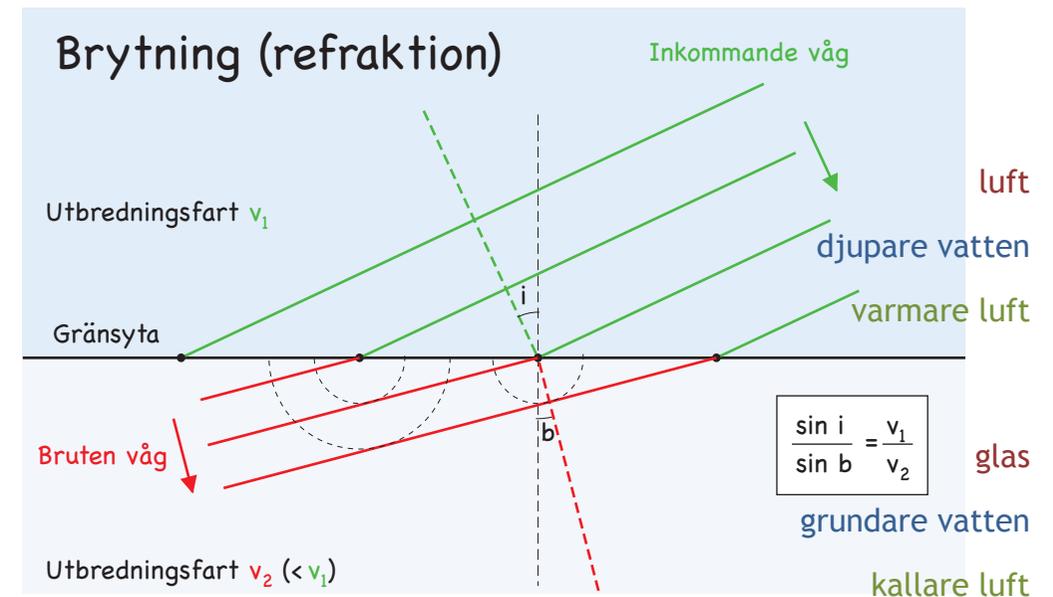
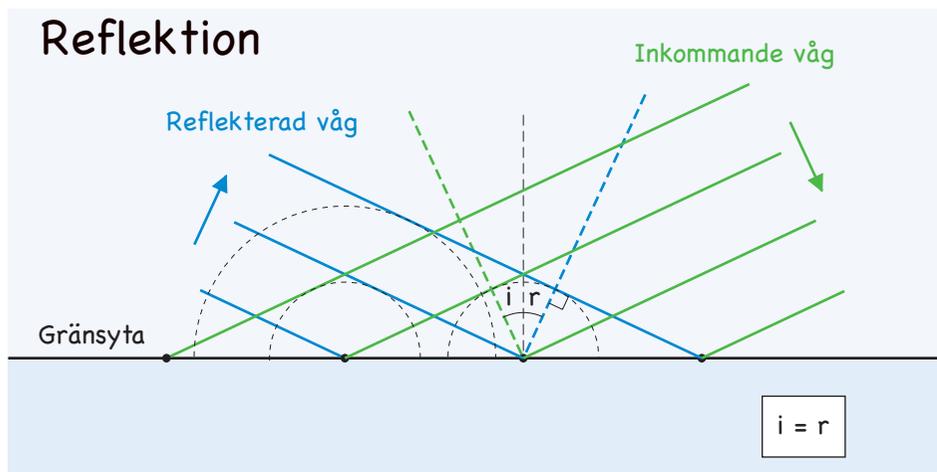
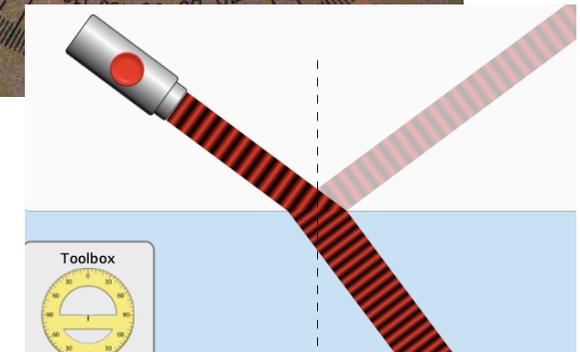
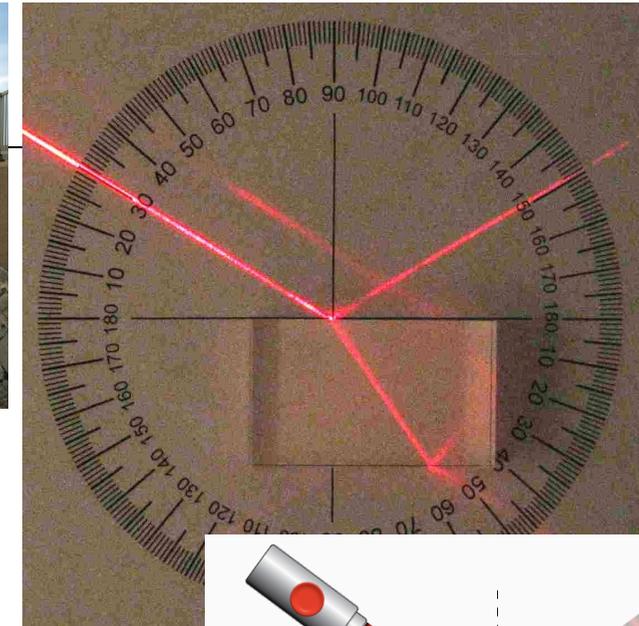
Samma frekvens!
 f beror på vågkällan
 v (och därmed λ) beror på medium



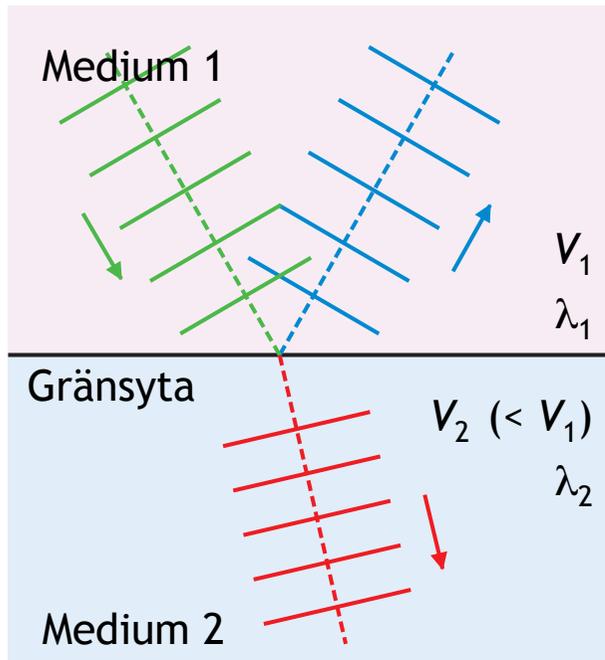
Reflektion och brytning



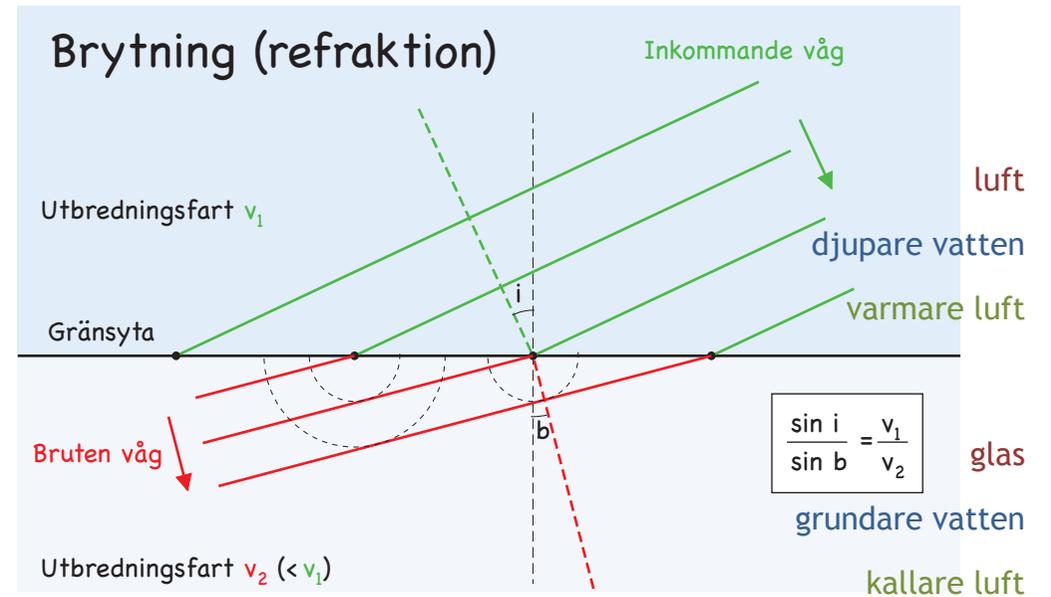
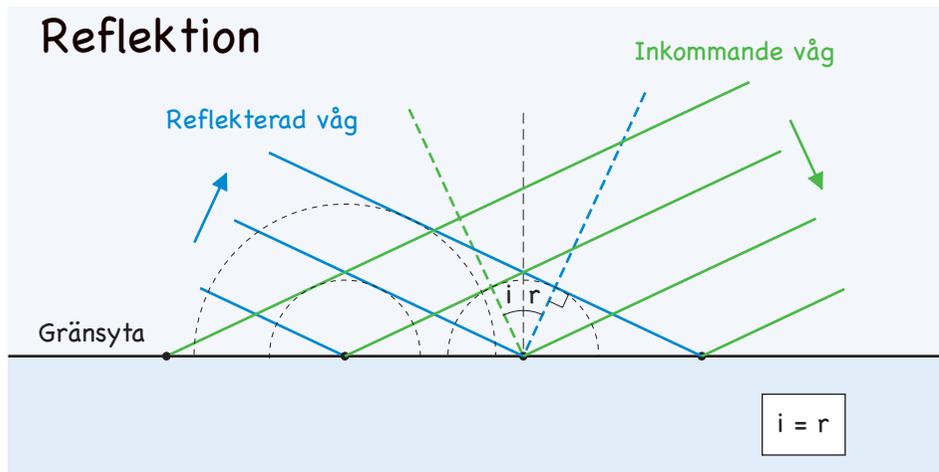
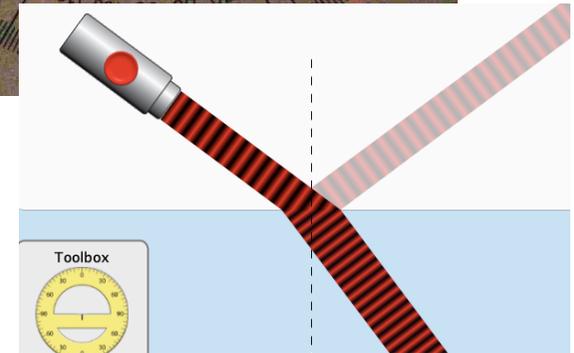
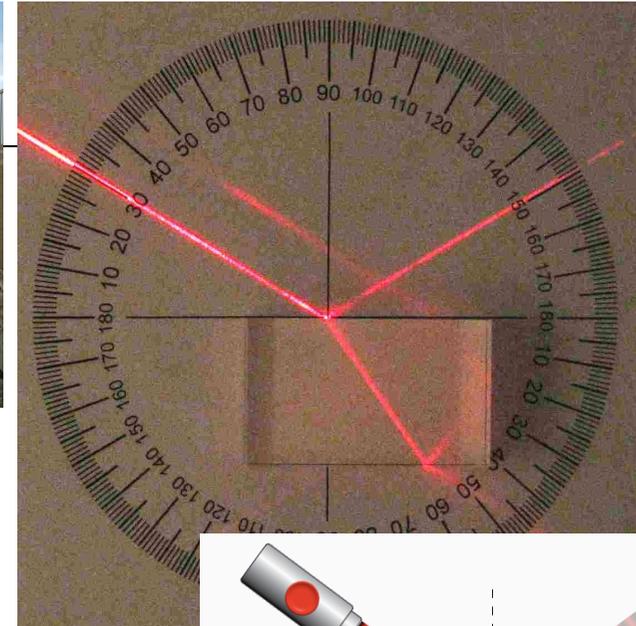
Samma frekvens!
 f beror på vågkällan
 v (och därmed λ) beror på medium



Reflektion och brytning



Samma frekvens!
 f beror på vågkällan
 v (och därmed λ) beror på medium



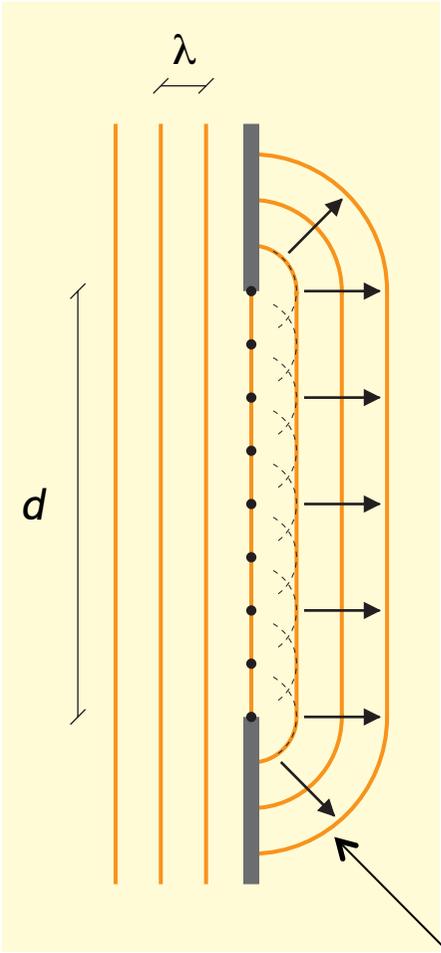




Böjning (diffraktion)



[10]

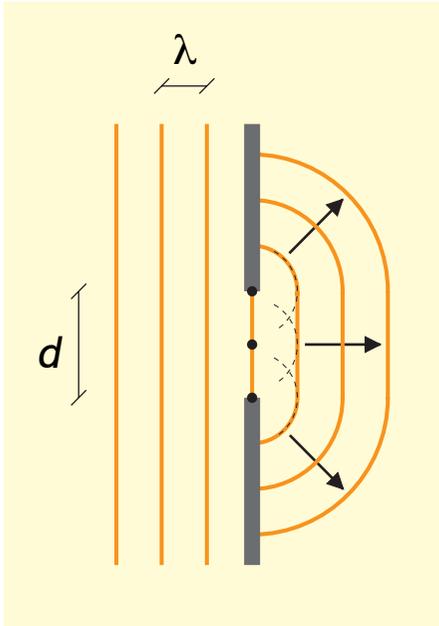
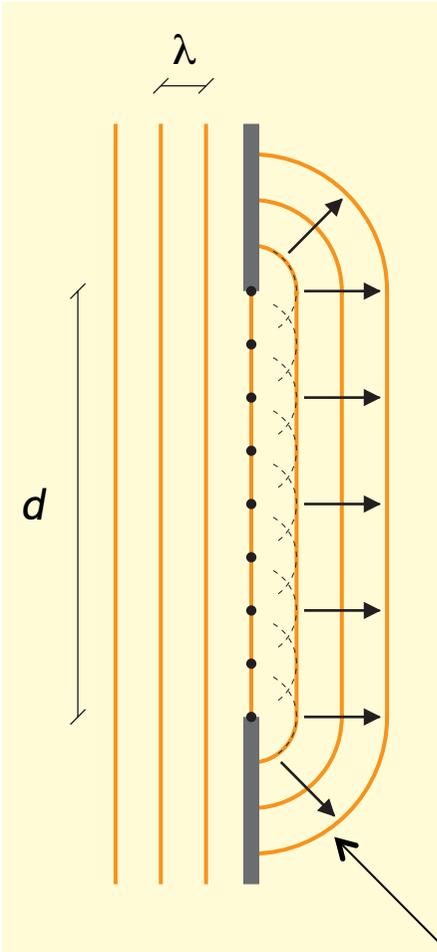


Avböjning åt sidorna!
(runt kanter)

Böjning (diffraktion)



[10]



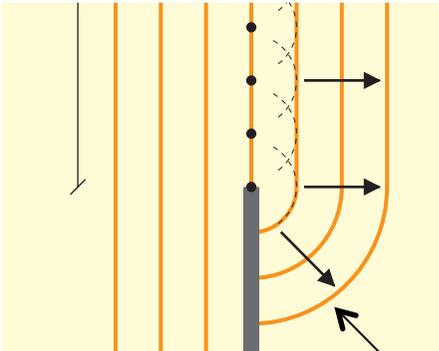
Enkelt observerbart om $d \sim \lambda$

Avböjning åt sidorna!
(runt kanter)

Böjning (diffraktion)



[10]



Avböjning åt sidorna!
(runt kanter)

Poissons fläck

FSS

[11]

Laser

Stålkula

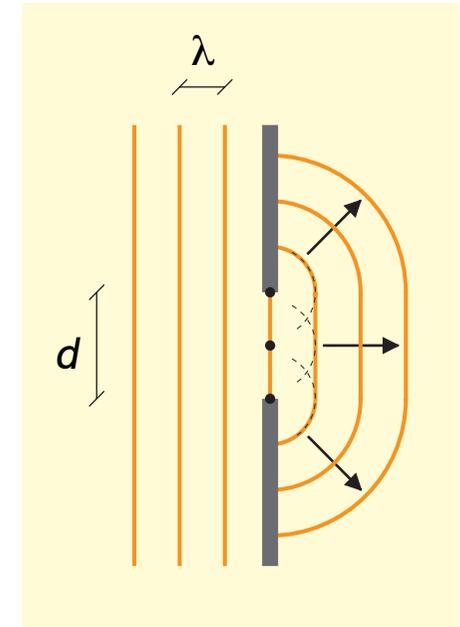
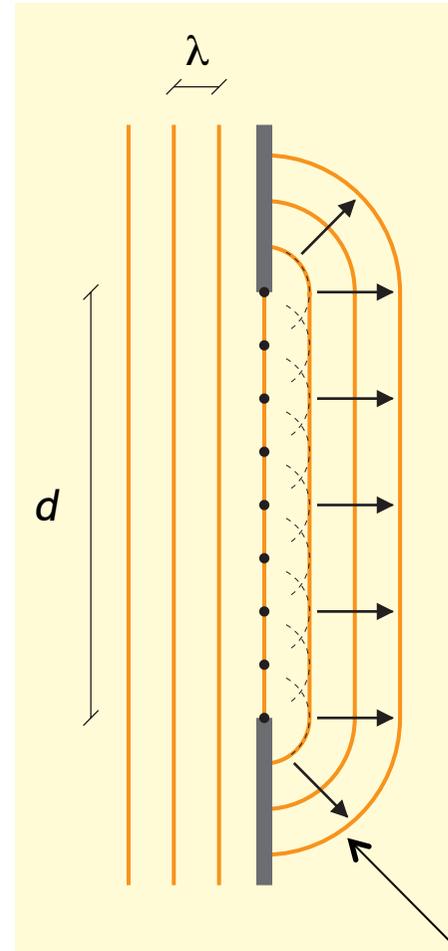
Skärm

Ljus fläck i mitten av skuggan!

Böjning (diffraktion)



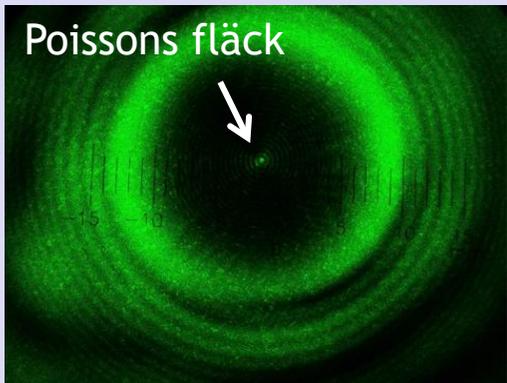
[10]



Enkelt observerbart om $d \sim \lambda$

Avböjning åt sidorna!
(runt kanter)

Poissons fläck



FSS

[11]

Laser

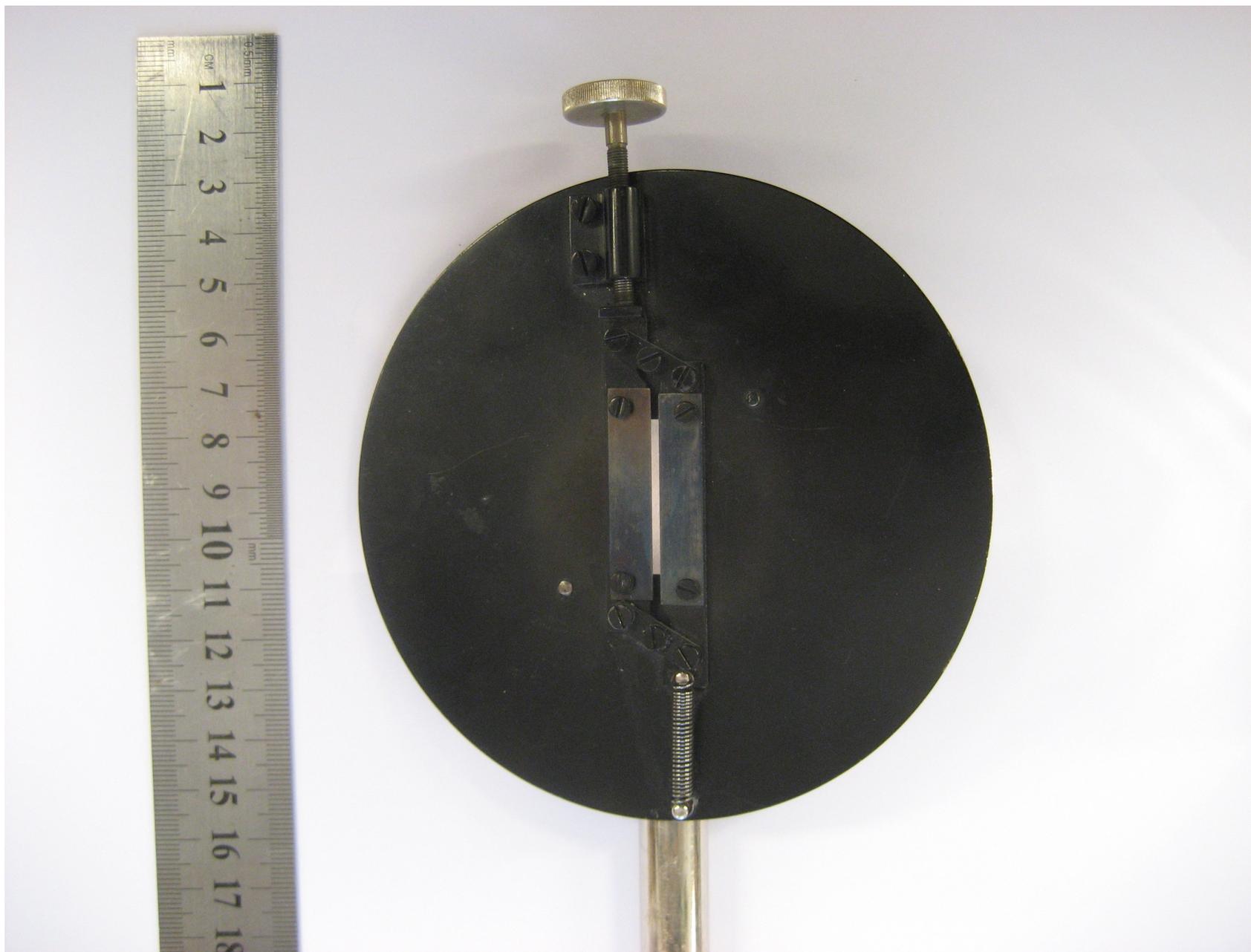


Stålkula

Skärm

Ljus fläck i mitten av skuggan!

Böjning (diffraktion)



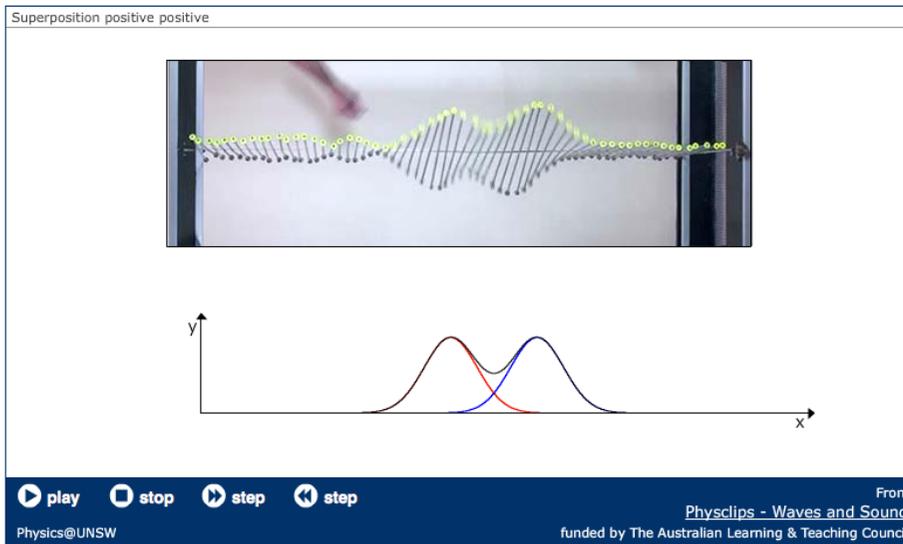


(överlagring)

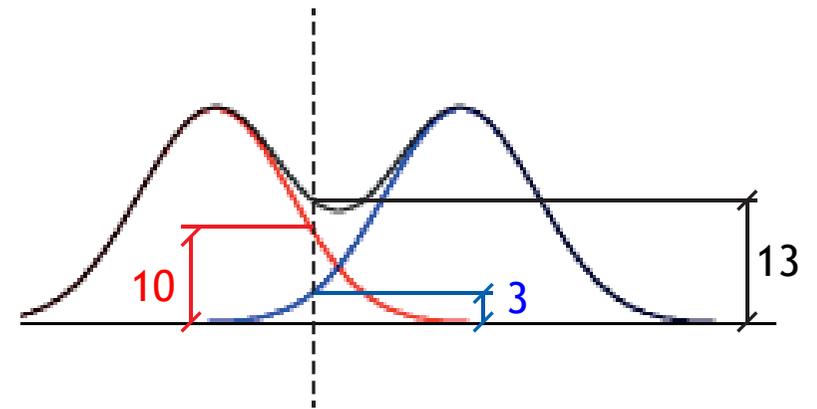
Superposition

Då två pulser överlagras (möts) adderas utslagen.

$$y_{\text{tot}} = y_1 + y_2 \quad (\text{superpositionsprincipen})$$



http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/waves_superposition_reflection.htm



[12b]



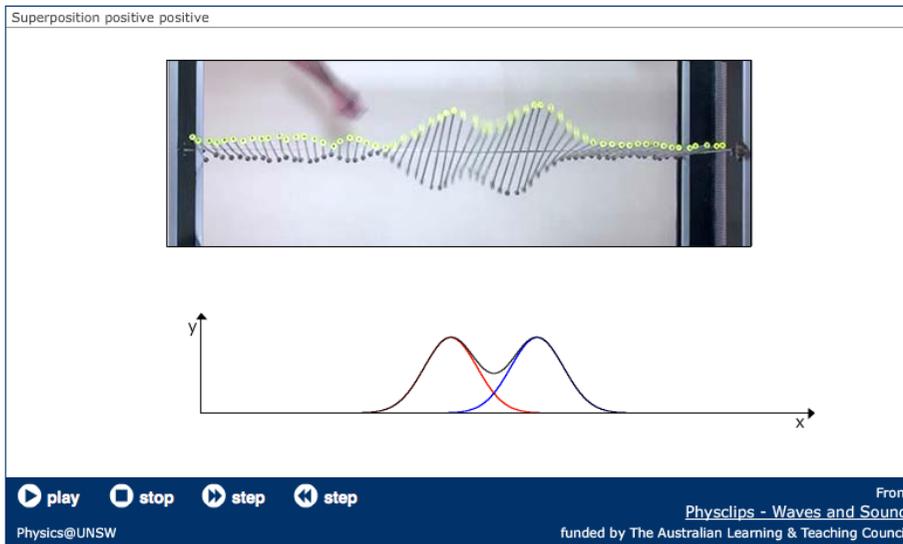
[12]

(överlagring)

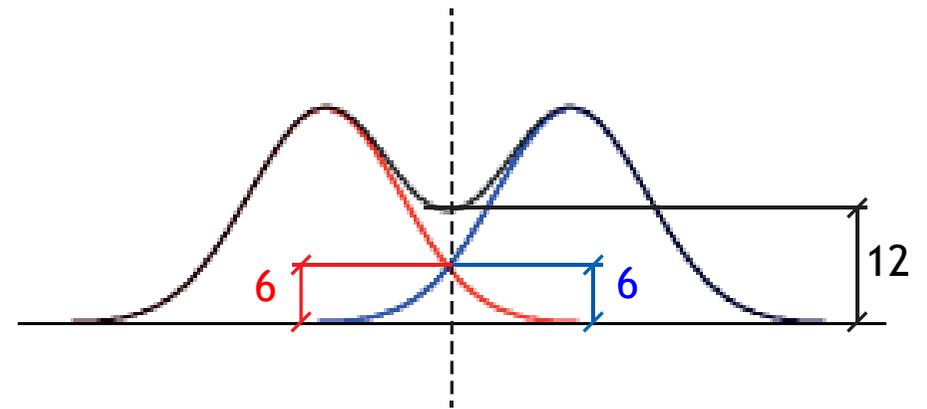
Superposition

Då två pulser överlagras (möts) adderas utslagen.

$$y_{\text{tot}} = y_1 + y_2 \quad (\text{superpositionsprincipen})$$



http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/waves_superposition_reflection.htm



[12b]



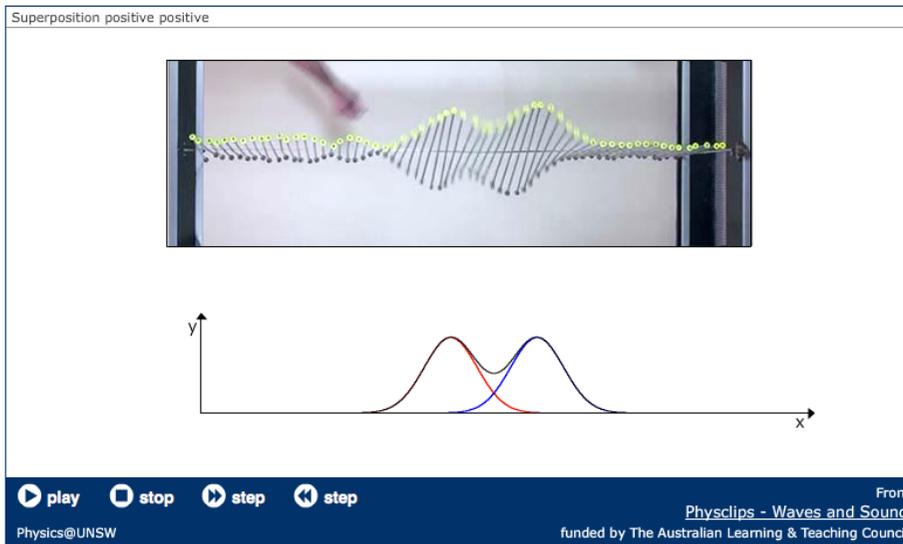
[12]

(överlagring)

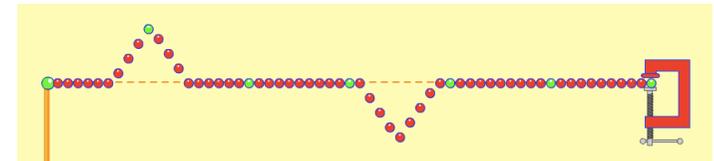
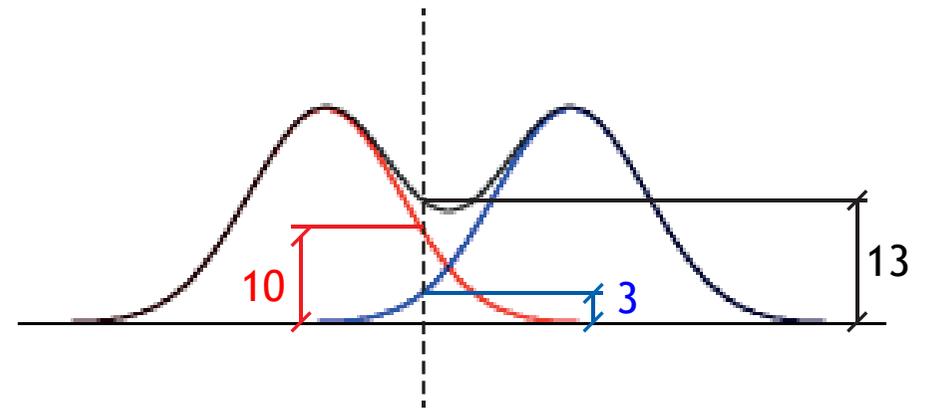
Superposition

Då två pulser överlagras (möts) adderas utslagen.

$$y_{\text{tot}} = y_1 + y_2 \quad (\text{superpositionsprincipen})$$



http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/waves_superposition_reflection.htm



[12b]



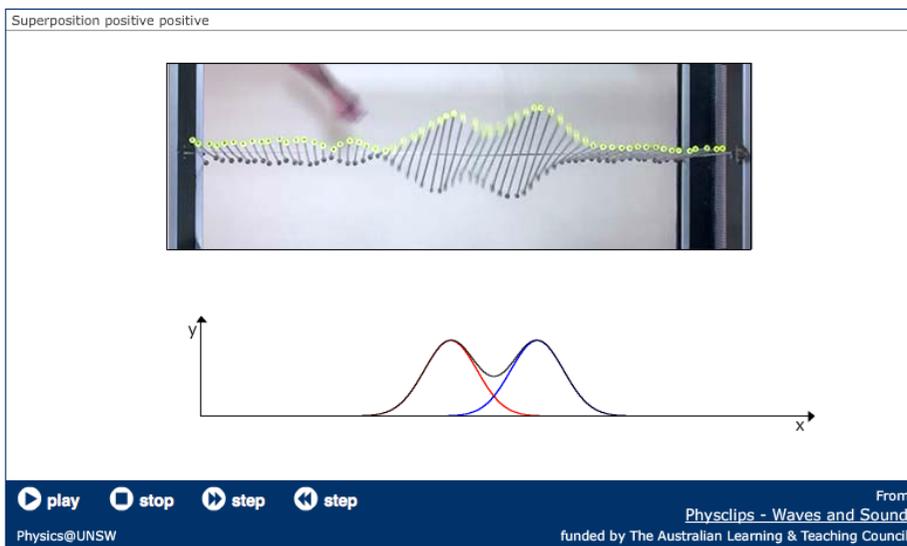
[12]

(överlagring)

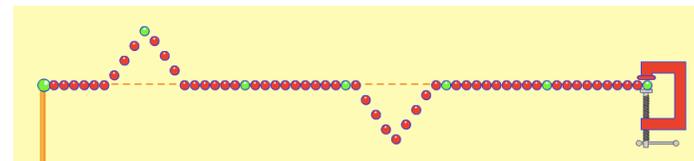
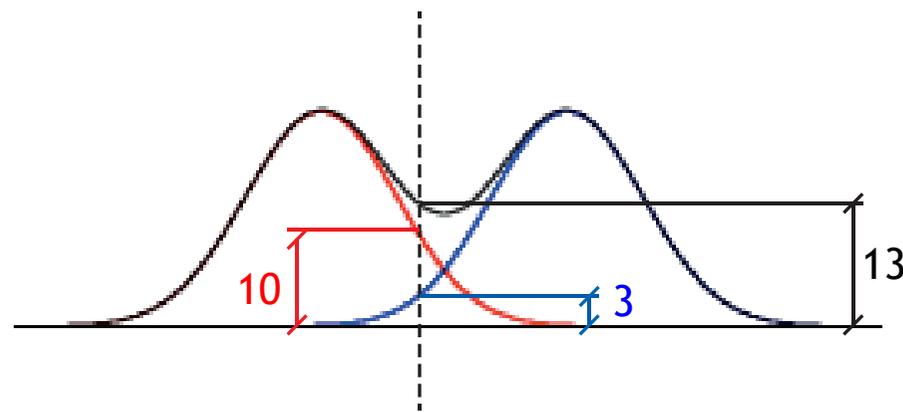
Superposition

Då två pulser överlagras (möts) adderas utslagen.

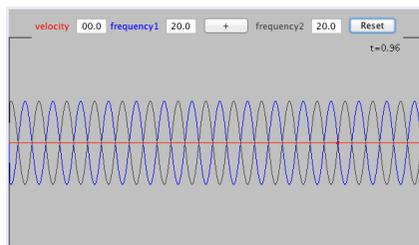
$$y_{\text{tot}} = y_1 + y_2 \quad (\text{superpositionsprincipen})$$



http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/waves_superposition_reflection.htm



Gäller även för vågor!



<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=19.0>



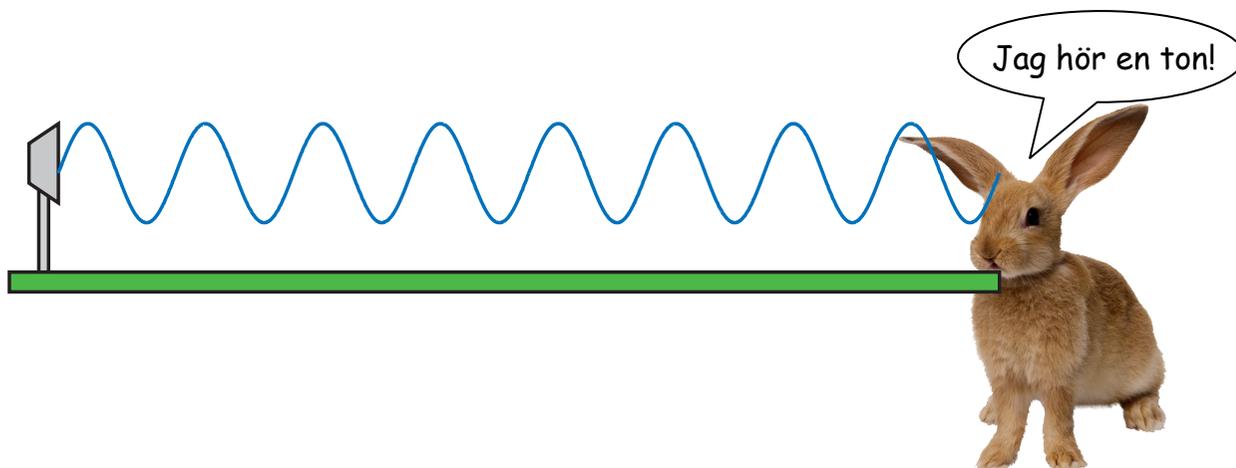
[12b]



[12]



Interferens (1D)



[OBS

Stillbild!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

Amplituden avtar eg. med avståndet!]

Interferens (1D)

VIKTIGT!



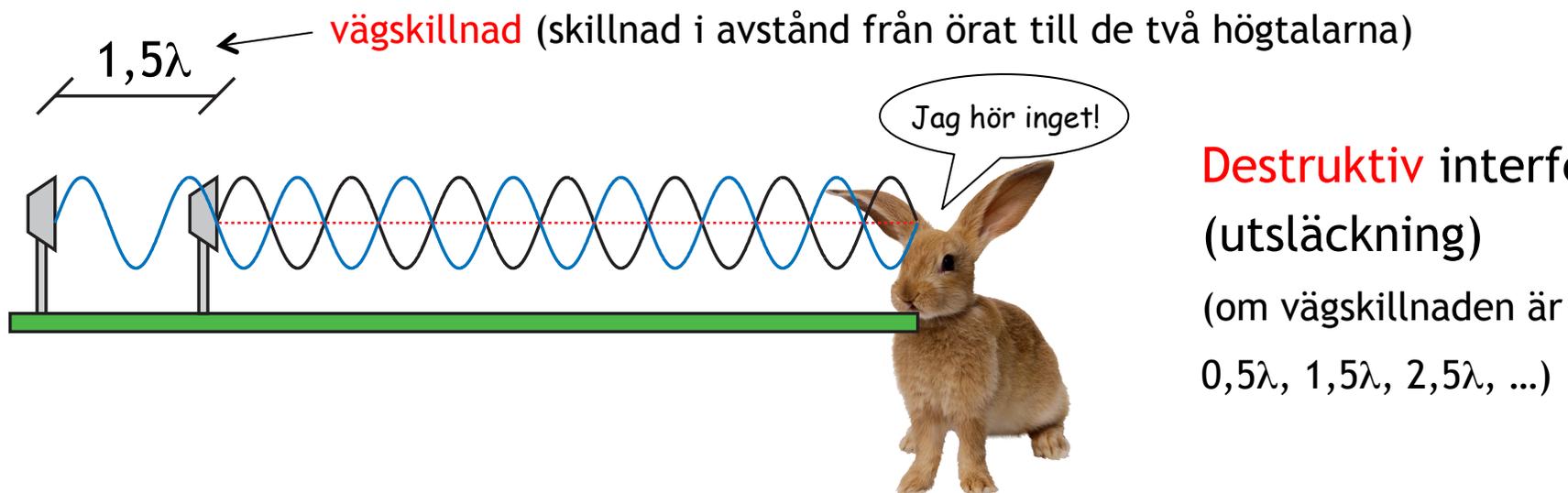
[OBS

Stillbilder!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

Amplituden avtar eg. med avståndet!]

Interferens (1D)



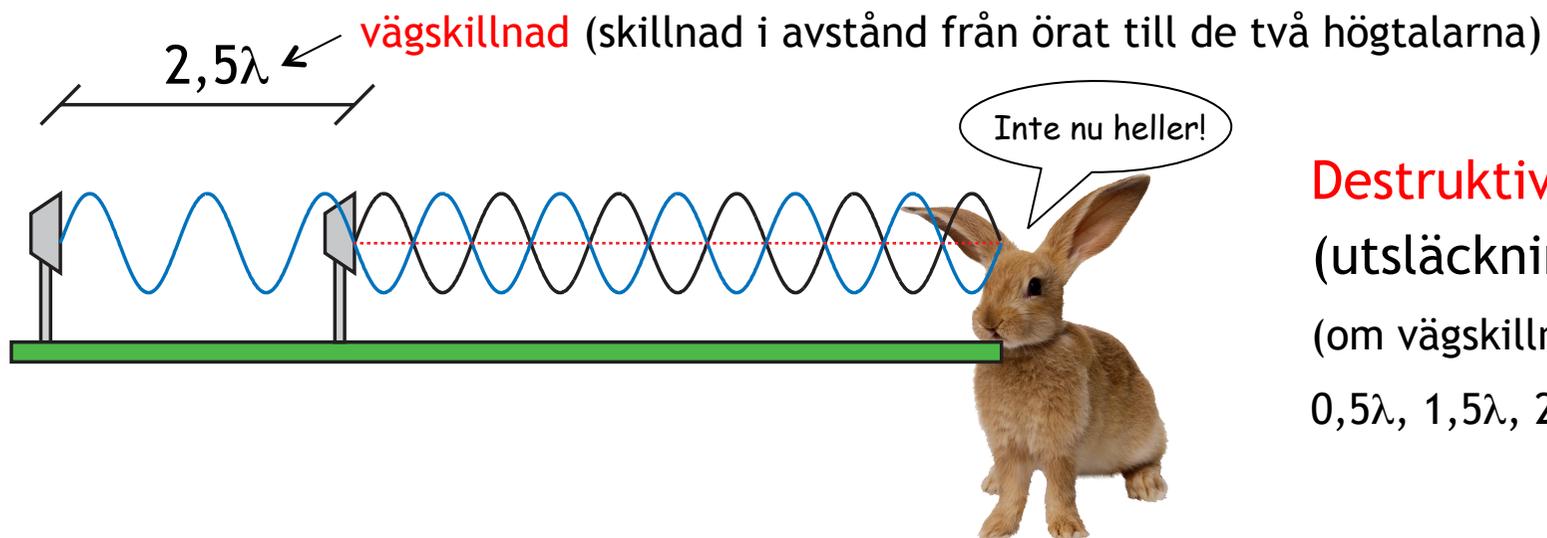
[OBS

Stillbilder!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

Amplituden avtar eg. med avståndet!]

Interferens (1D)



Destruktiv interferens
(utsläckning)
(om vägskillnaden är
0,5 λ , 1,5 λ , 2,5 λ , ...)

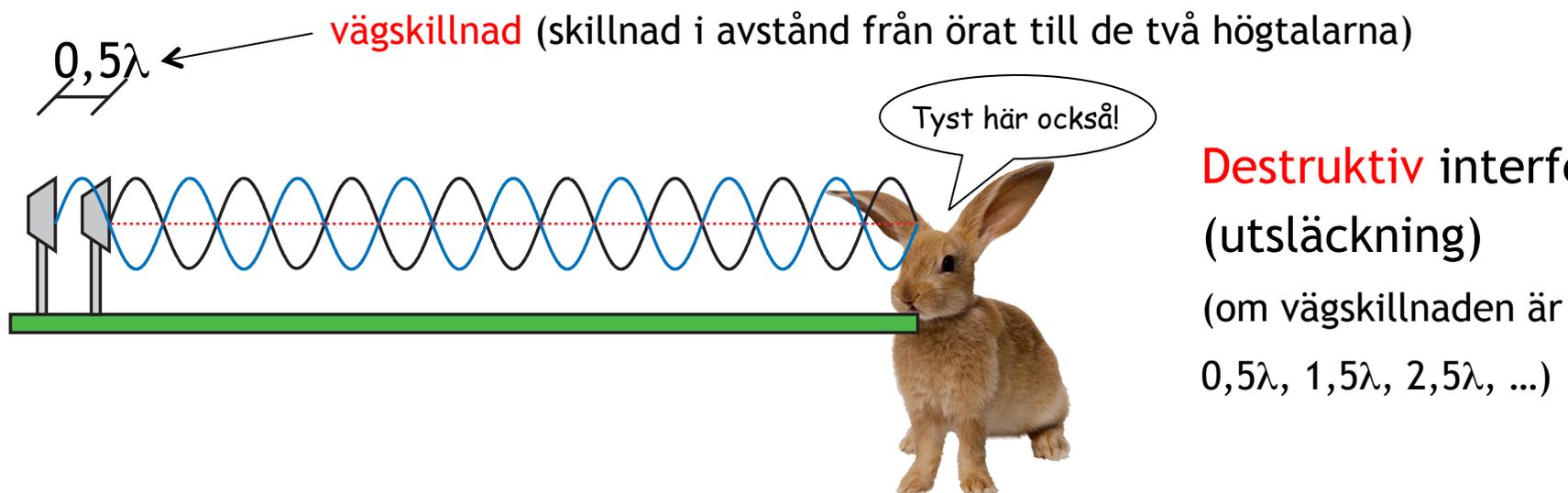
[OBS

Stillbilder!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

Amplituden avtar eg. med avståndet!]

Interferens (1D)



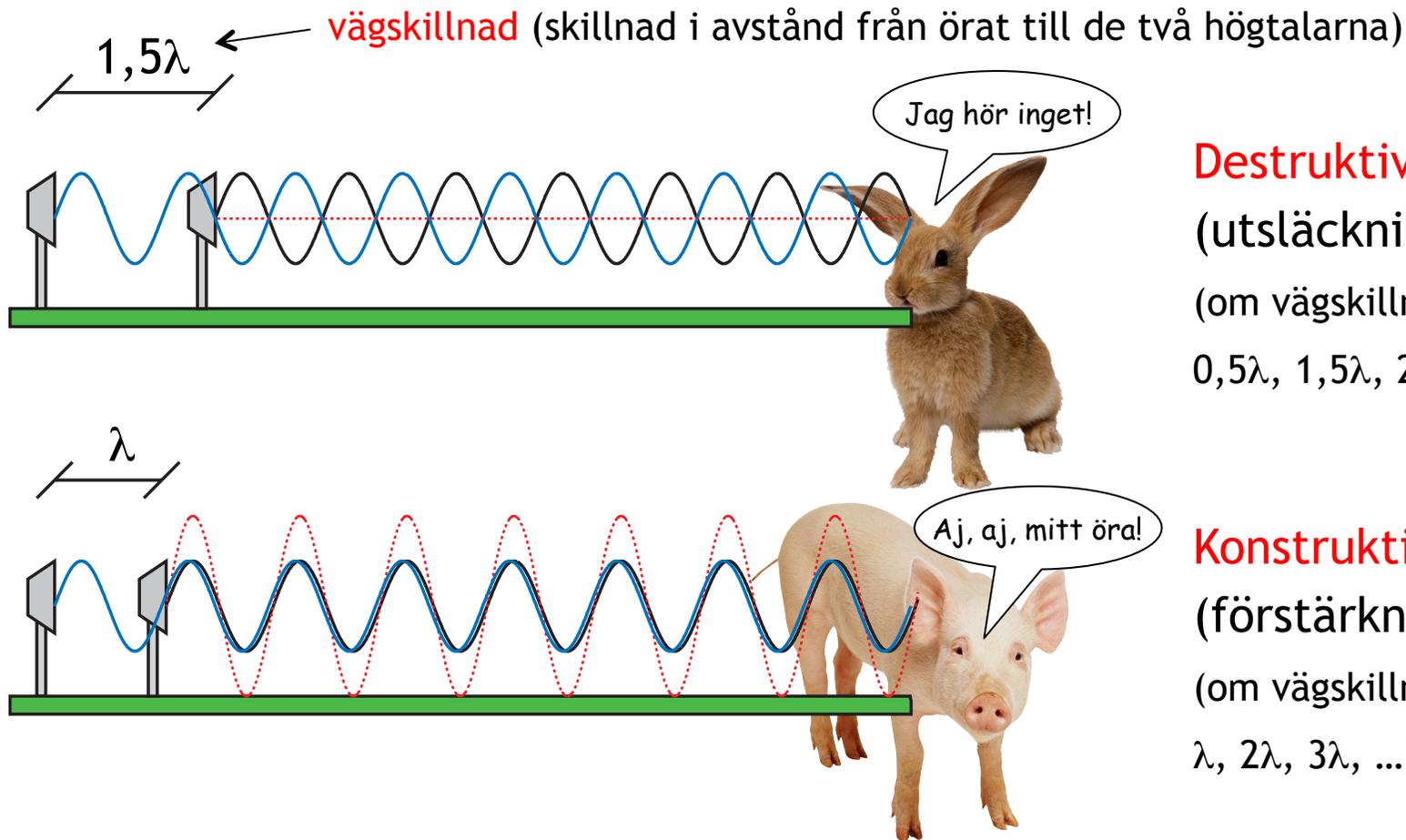
[OBS

Stillbilder!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

Amplituden avtar eg. med avståndet!]

Interferens (1D)



Destruktiv interferens
(utsläckning)

(om vägskillnaden är
 $0,5\lambda, 1,5\lambda, 2,5\lambda, \dots$)

Konstruktiv interferens
(förstärkning)

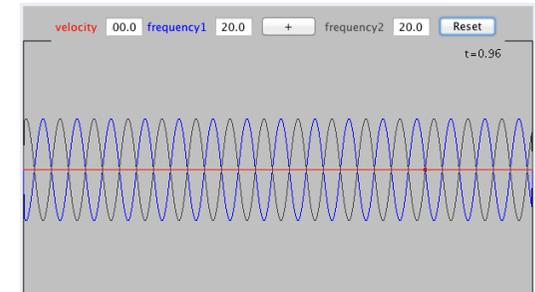
(om vägskillnaden är
 $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$)

[OBS

Stillbilder!

Ljud egentligen long. vågrörelse!

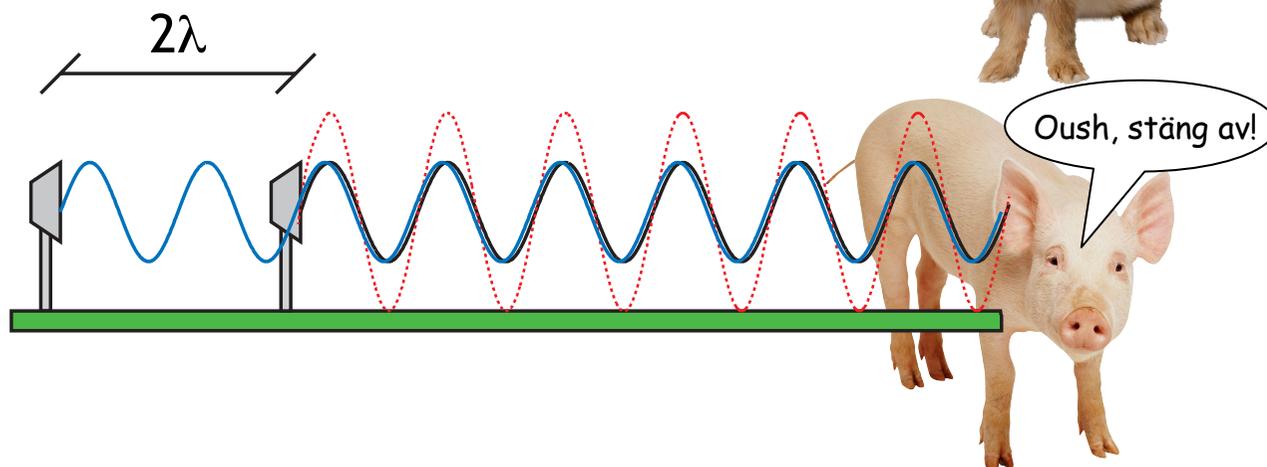
Amplituden avtar eg. med avståndet!]



Interferens (1D)

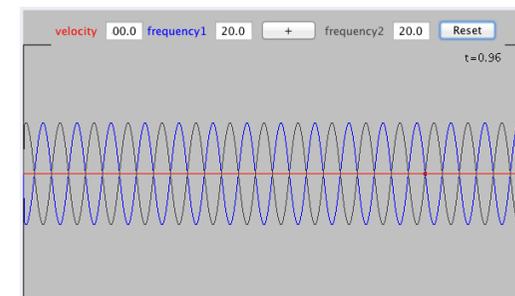


Destruktiv interferens
(utsläckning)
(om vägskillnaden är $0,5\lambda, 1,5\lambda, 2,5\lambda, \dots$)

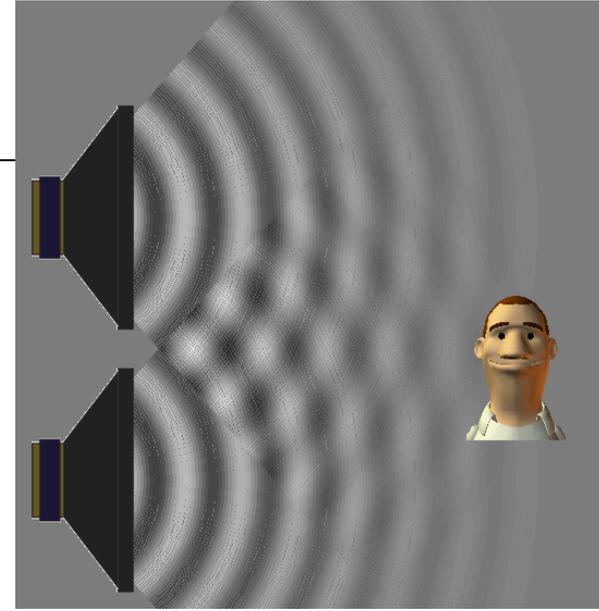


Konstruktiv interferens
(förstärkning)
(om vägskillnaden är $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$)

[OBS
Stillbilder!
Ljud egentligen long. vågrörelse!
Amplituden avtar eg. med avståndet!]

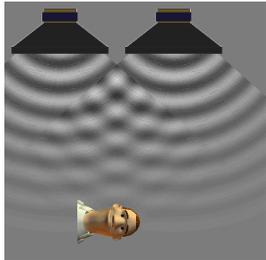


Interferens (2D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>

Interferens (2D)



S_1



S_2

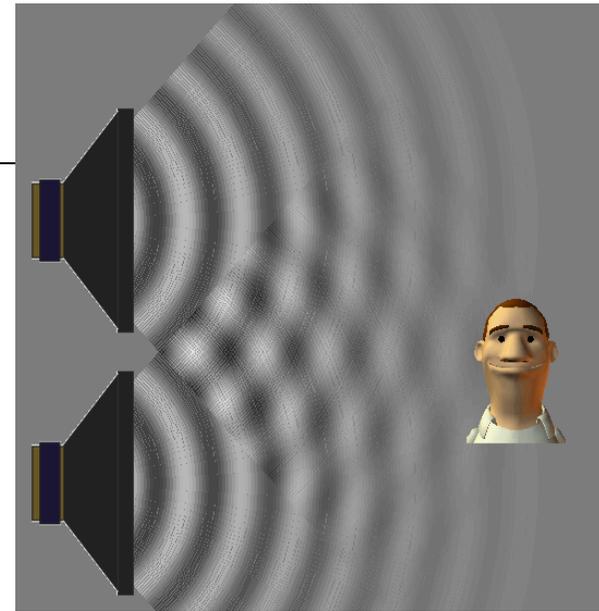


Vad händer i P?



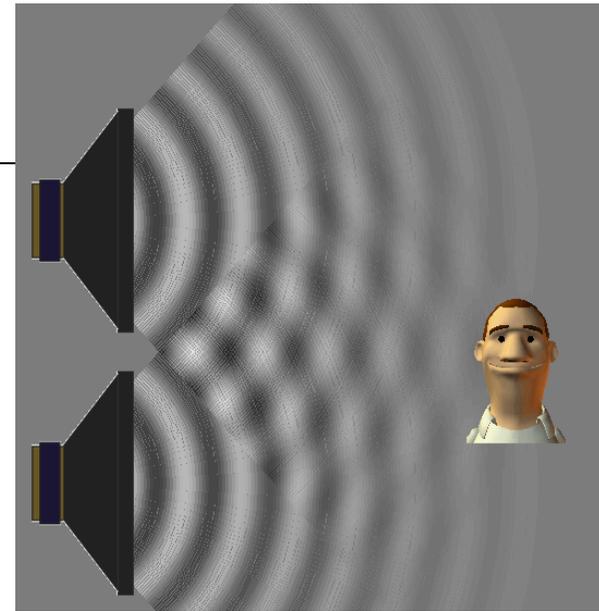
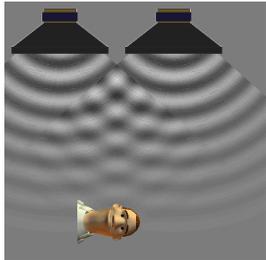
P (godtycklig punkt)

S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

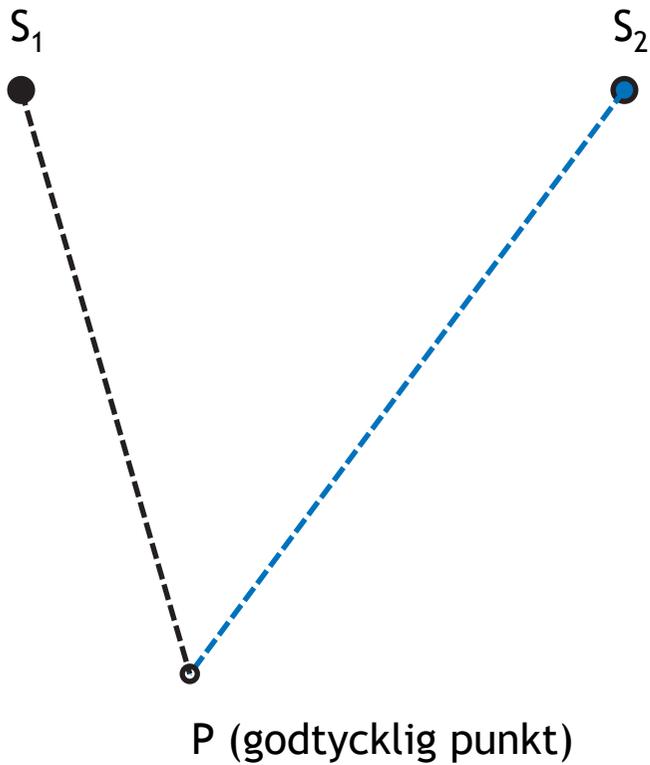


<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>

Interferens (2D)

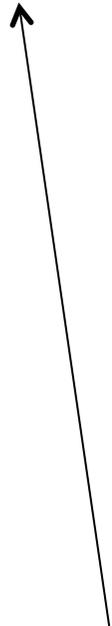


<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>



Vad händer i P?

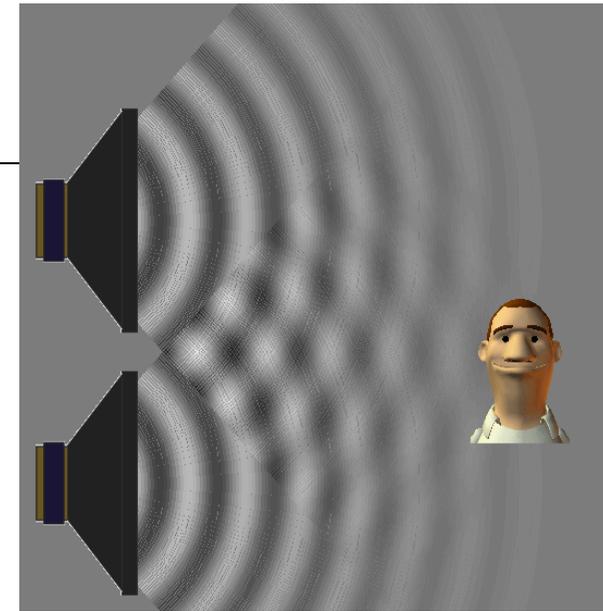
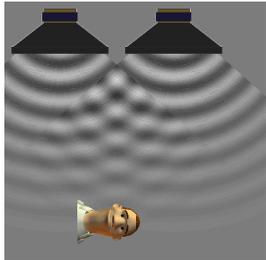
$$PS_2 - PS_1$$



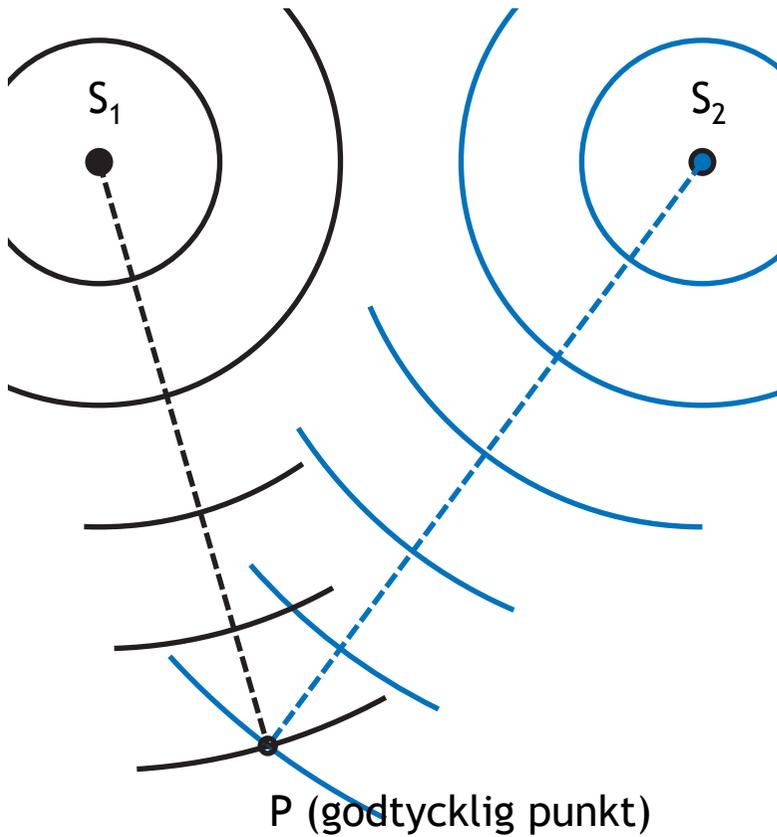
S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

vägskillnad (skillnad i avstånd från P till resp. vågkälla)

Interferens (2D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>



Vad händer i P?

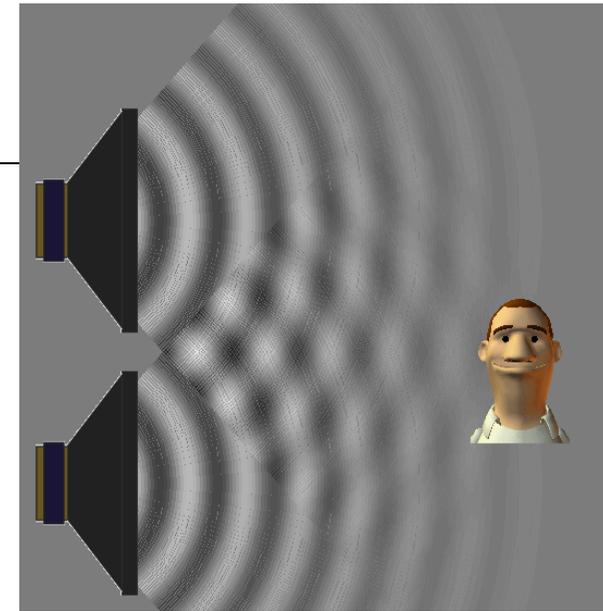
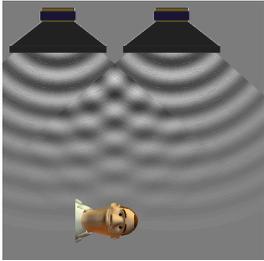
1) $PS_2 - PS_1 =$ helt antal våglängder:
 $0 \quad \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda \quad \dots$

Konstruktiv interferens
 (svängningar med maximal
 amplitud)

S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

vägskillnad (skillnad i avstånd från P till resp. vågkälla)

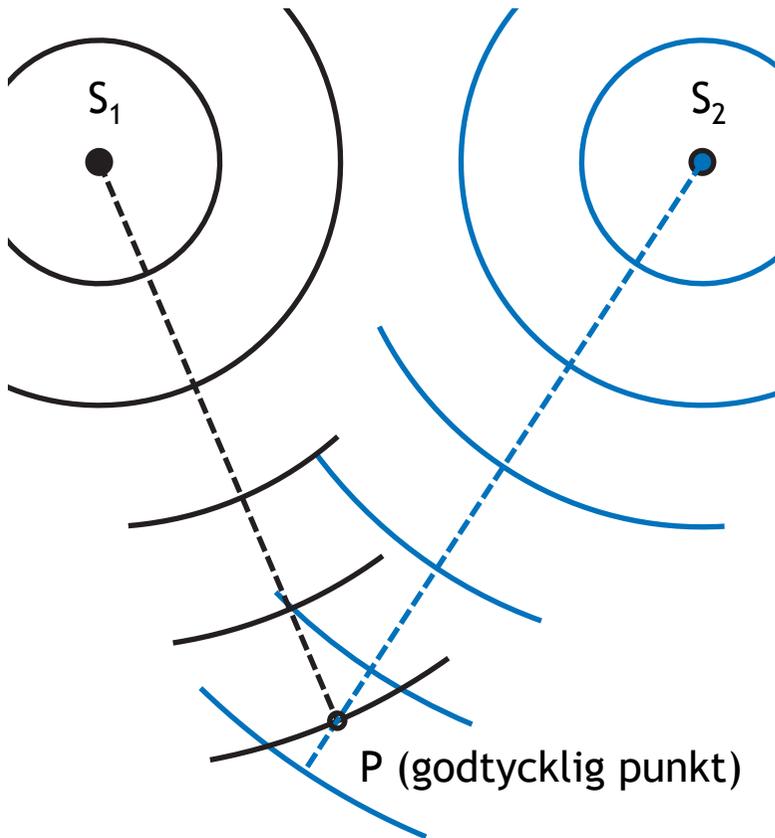
Interferens (2D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>

18

*



Vad händer i P?

1) $PS_2 - PS_1 =$ helt antal våglängder:
 $0 \lambda \ 2\lambda \ 3\lambda \ \dots$

Konstruktiv interferens
(svängningar med maximal
amplitud)

2) $PS_2 - PS_1 =$ udda antal halva vågl:
 $0,5\lambda \ 1,5\lambda \ 2,5\lambda \ 3,5\lambda \ \dots$

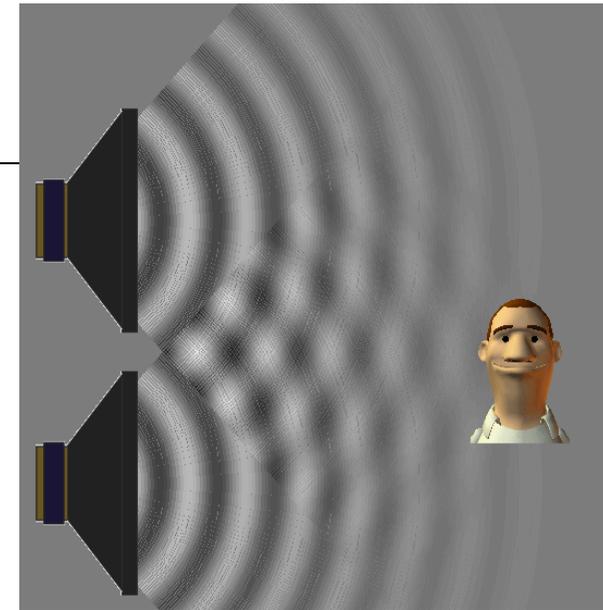
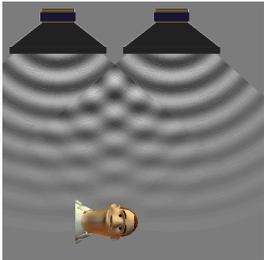
Destruktiv interferens
(utsläckning)

P (godtycklig punkt)

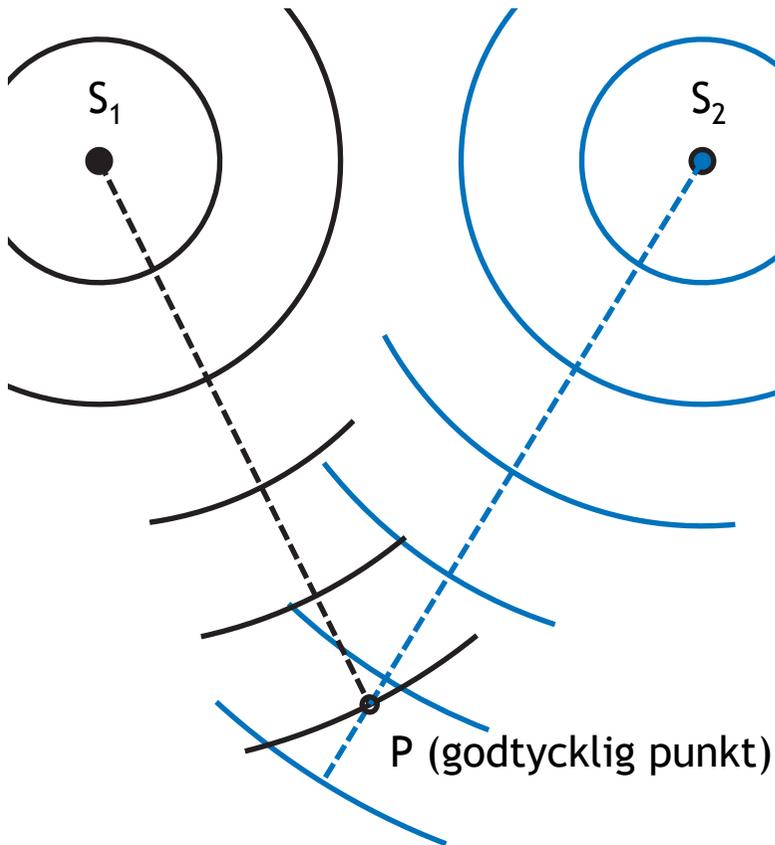
S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

vägskillnad (skillnad i avstånd från P till resp. vågkälla)

Interferens (2D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>



Vad händer i P?

1) $PS_2 - PS_1 =$ helt antal våglängder:
 $0 \lambda \ 2\lambda \ 3\lambda \ \dots$

Konstruktiv interferens
(svängningar med maximal amplitud)

2) $PS_2 - PS_1 =$ udda antal halva vågl:
 $0,5\lambda \ 1,5\lambda \ 2,5\lambda \ 3,5\lambda \ \dots$

Destruktiv interferens
(utsläckning)

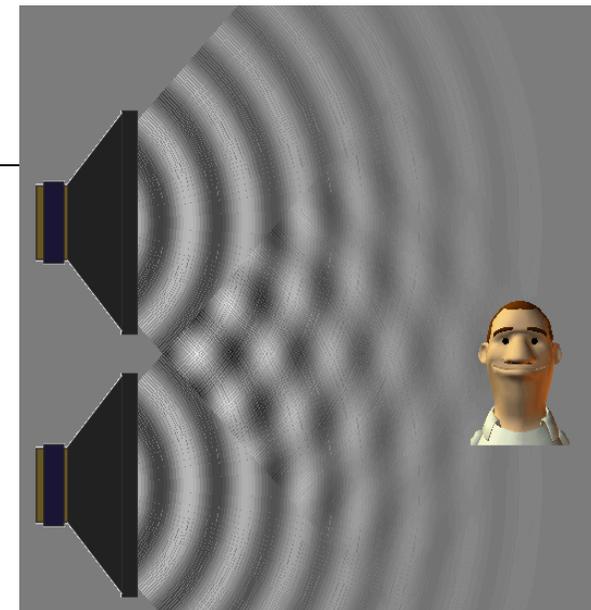
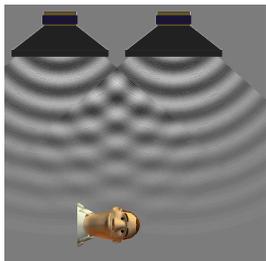
3) $PS_2 - PS_1 =$ nåt annat:

Svängningar med amplitud $<$ maximala (men > 0)

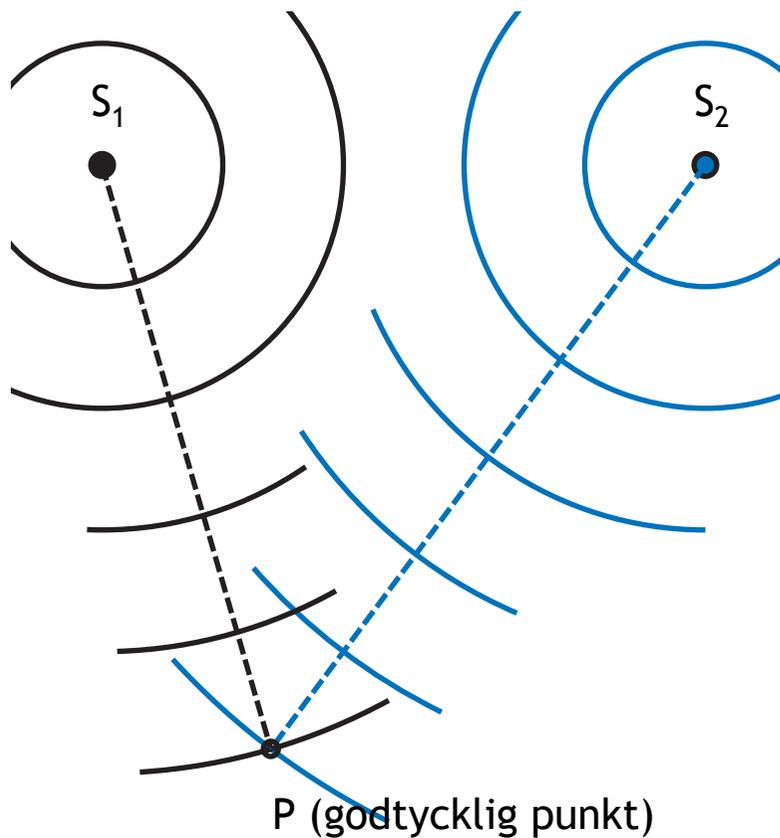
S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

vägskillnad (skillnad i avstånd från P till resp. vågkälla)

Interferens (2D)



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound>



S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

Vad händer i P?

- 1) $PS_2 - PS_1 =$ **helt antal** våglängder:
 $0 \lambda \ 2\lambda \ 3\lambda \ \dots$
Konstruktiv interferens
(svängningar med maximal amplitud)
- 2) $PS_2 - PS_1 =$ **udda antal halva** vågl:
 $0,5\lambda \ 1,5\lambda \ 2,5\lambda \ 3,5\lambda \ \dots$
Destruktiv interferens
(utsläckning)
- 3) $PS_2 - PS_1 =$ nåt annat:
Svängningar med
amplitud $<$ maximala
(men > 0)



vägskillnad (skillnad i avstånd från P till resp. vågkälla)

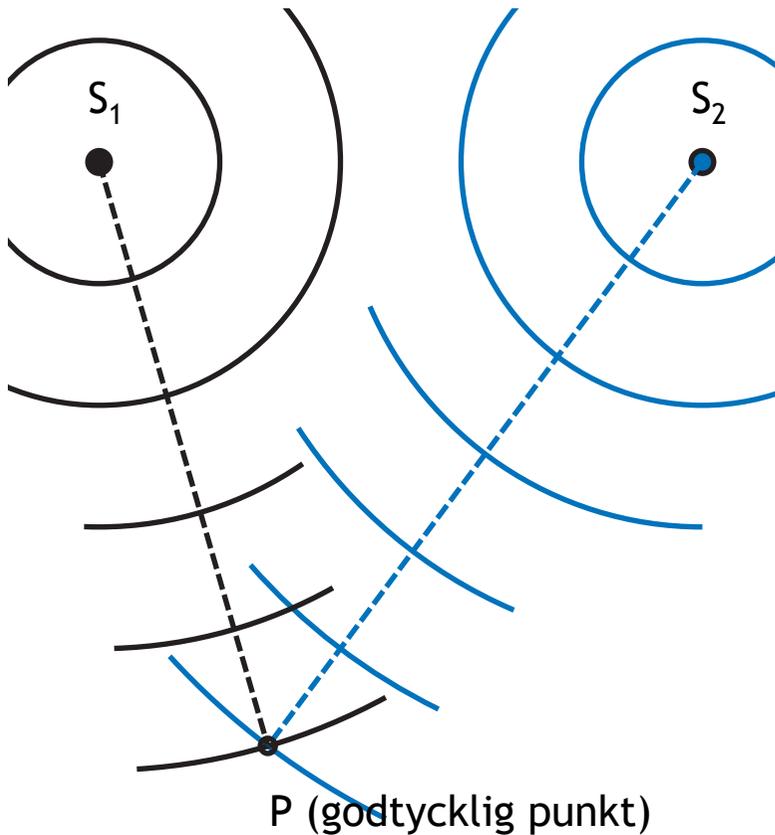
Interferens (2D)



Vad händer om förutsättningarna nedan ej är uppfyllda?

Om vågkällorna...

EJ KLART!



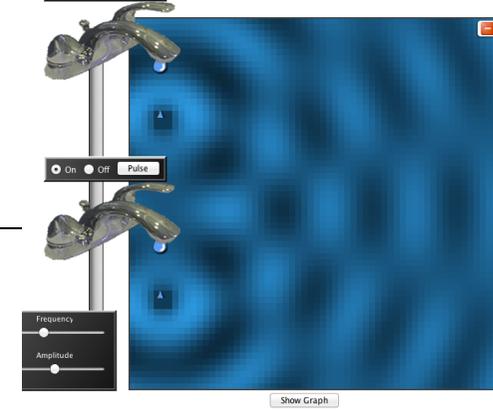
...inte har samma frekvens: Inget ihållande interferensmönster

...inte har samma amplitud: Inte total utsläckning på nodlinjerna.

... inte svänger i fas: F- och N-linjer hamnar på andra ställen

S_1 och S_2 är två vågkällor (samma frekvens, samma amplitud, svänger i fas)

Interferens (2D)



19

Konstruktiv interferens i P om

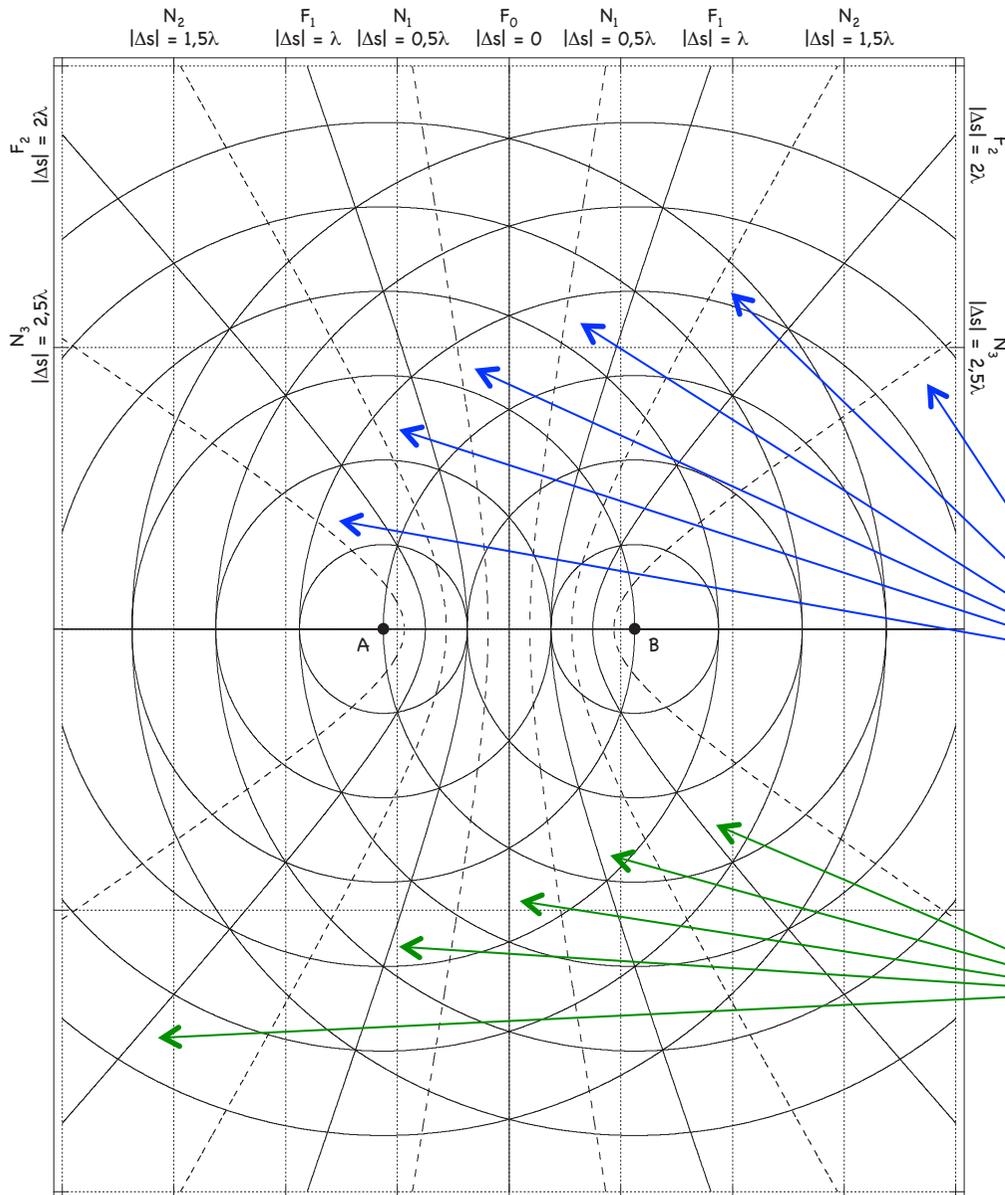
$$\Delta s = PS_2 - PS_1 = \pm n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Destruktiv interferens i P om

$$\Delta s = PS_2 - PS_1 = \pm(2n - 1)\frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

(om vågkällorna svänger i fas)

Interferens (2D)



Konstruktiv interferens i P om

$$\Delta s = PS_2 - PS_1 = \pm n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Destruktiv interferens i P om

$$\Delta s = PS_2 - PS_1 = \pm(2n - 1)\frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

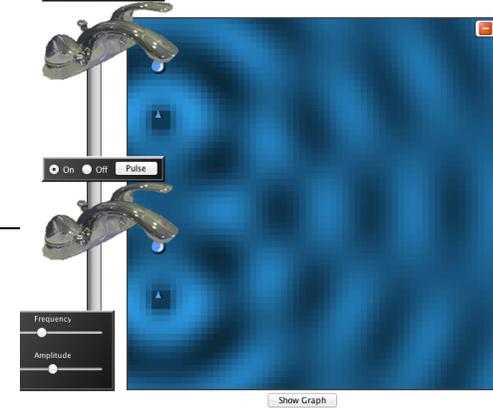
(om vågkällorna svänger i fas)

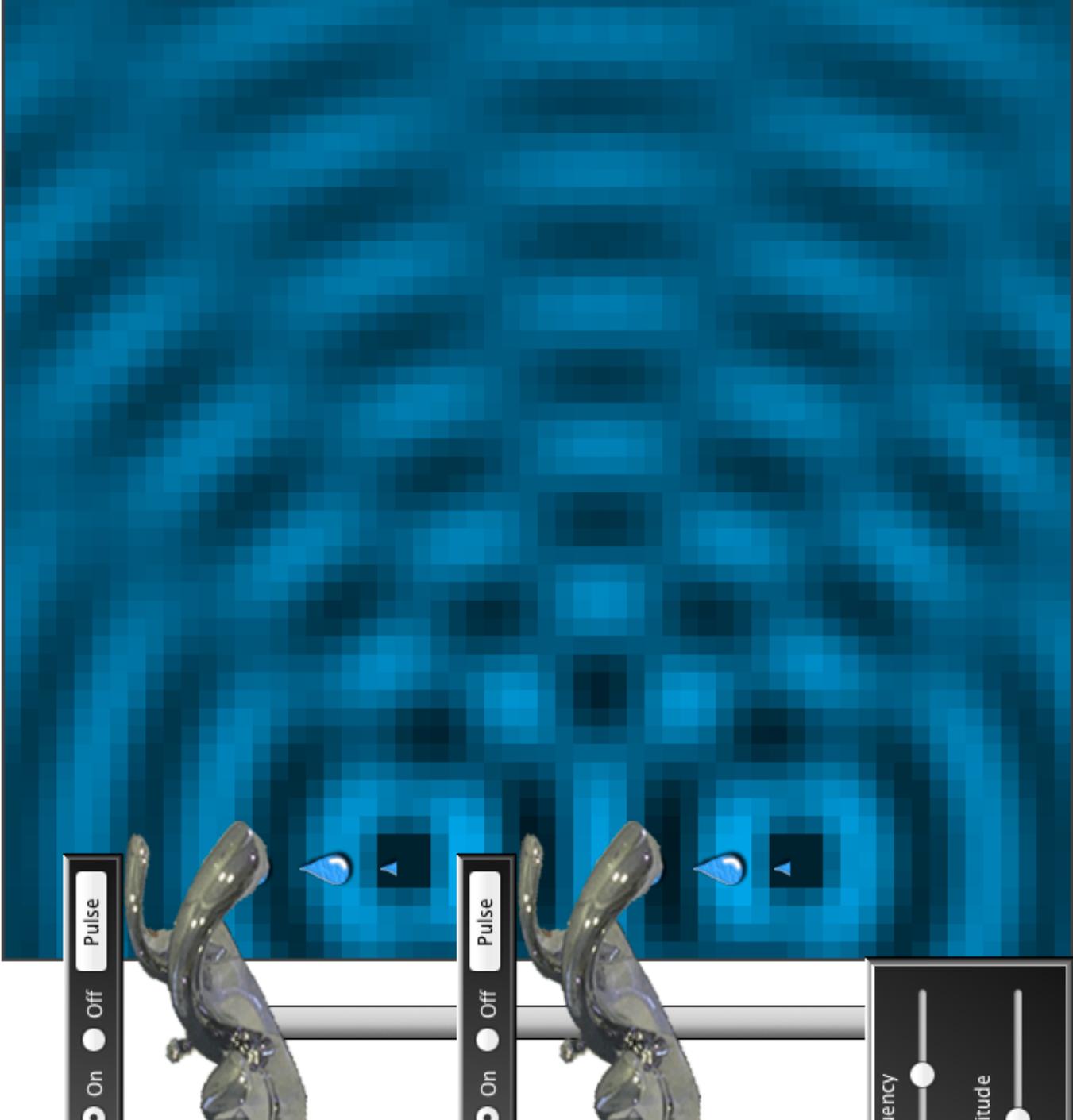
Nodlinjer

(punkter där villkoret för **destruktiv** interferens är uppfyllt)

Förstärkningslinjer

(punkter där villkoret för **konstruktiv** interferens är uppfyllt)







$$N_2 \quad |\Delta s| = 1,5\lambda$$

$$F_1 \quad |\Delta s| = \lambda$$

$$N_1 \quad |\Delta s| = 0,5\lambda$$

$$F_0 \quad |\Delta s| = 0$$

$$N_1 \quad |\Delta s| = 0,5\lambda$$

$$F_1 \quad |\Delta s| = \lambda$$

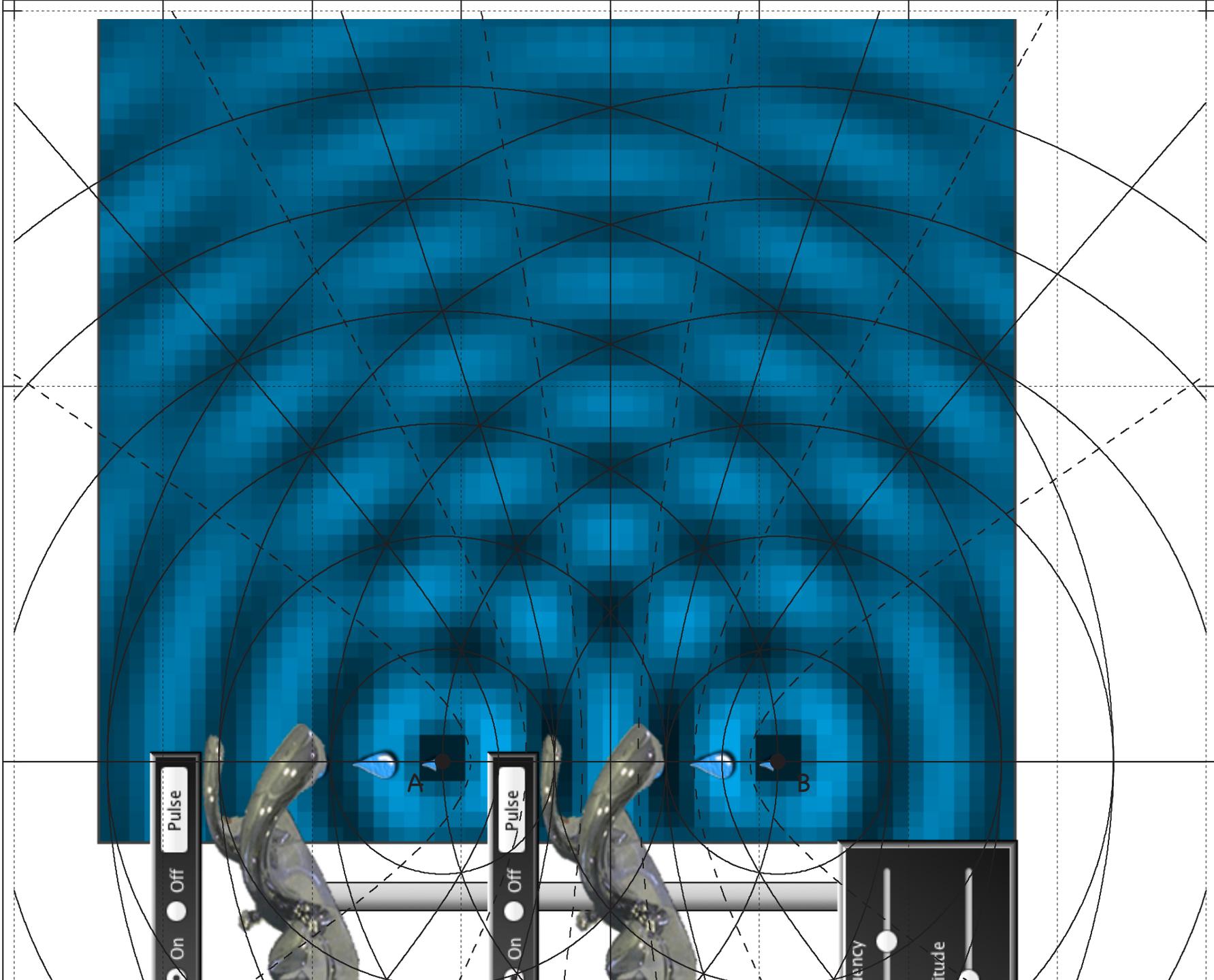
$$N_2 \quad |\Delta s| = 1,5\lambda$$

$$F_2 \quad |\Delta s| = 2\lambda$$

$$N_3 \quad |\Delta s| = 2,5\lambda$$

$$F_2 \quad |\Delta s| = 2\lambda$$

$$N_3 \quad |\Delta s| = 2,5\lambda$$



On ● Off Pulse

On ● Off Pulse

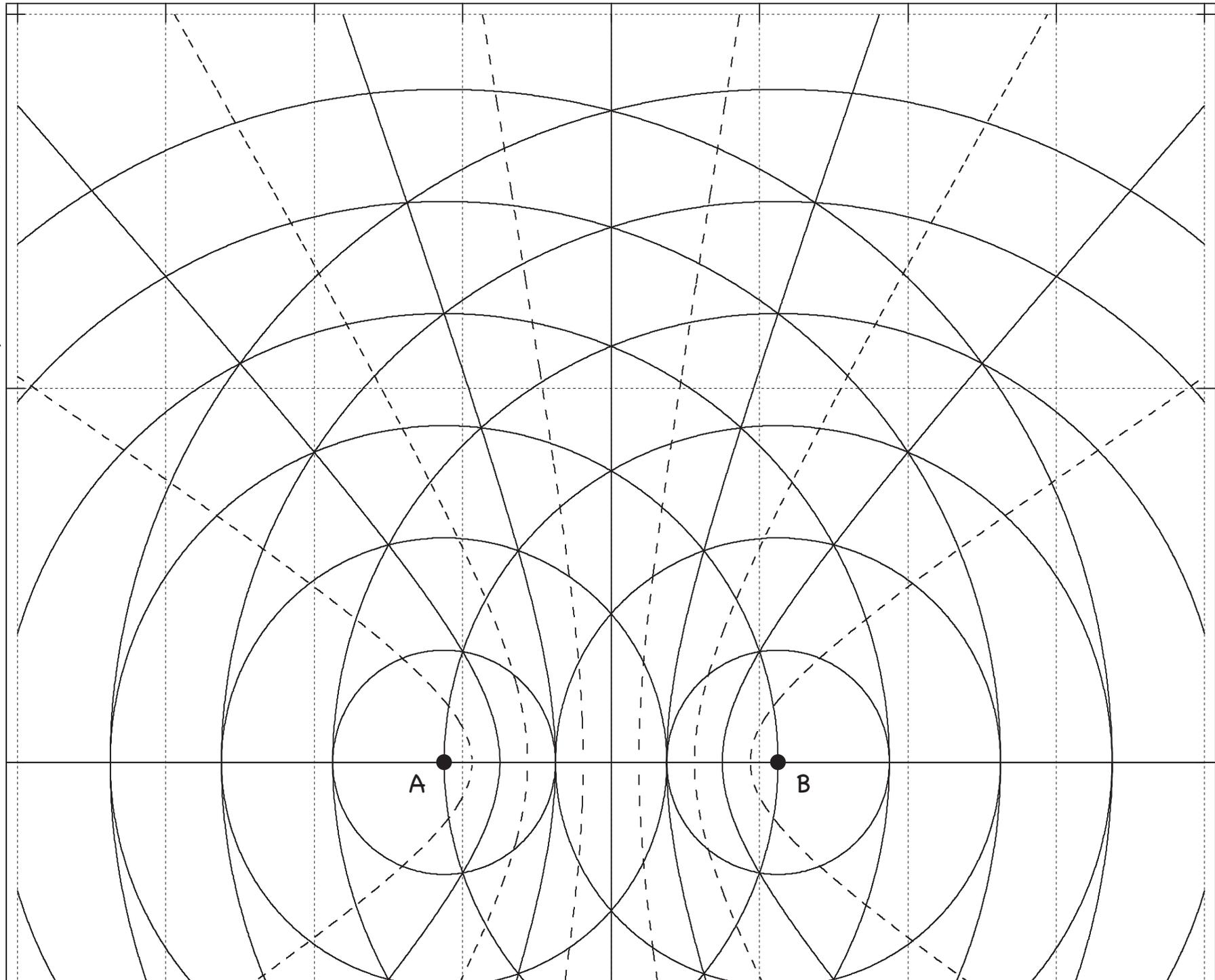
Frequency Amplitude

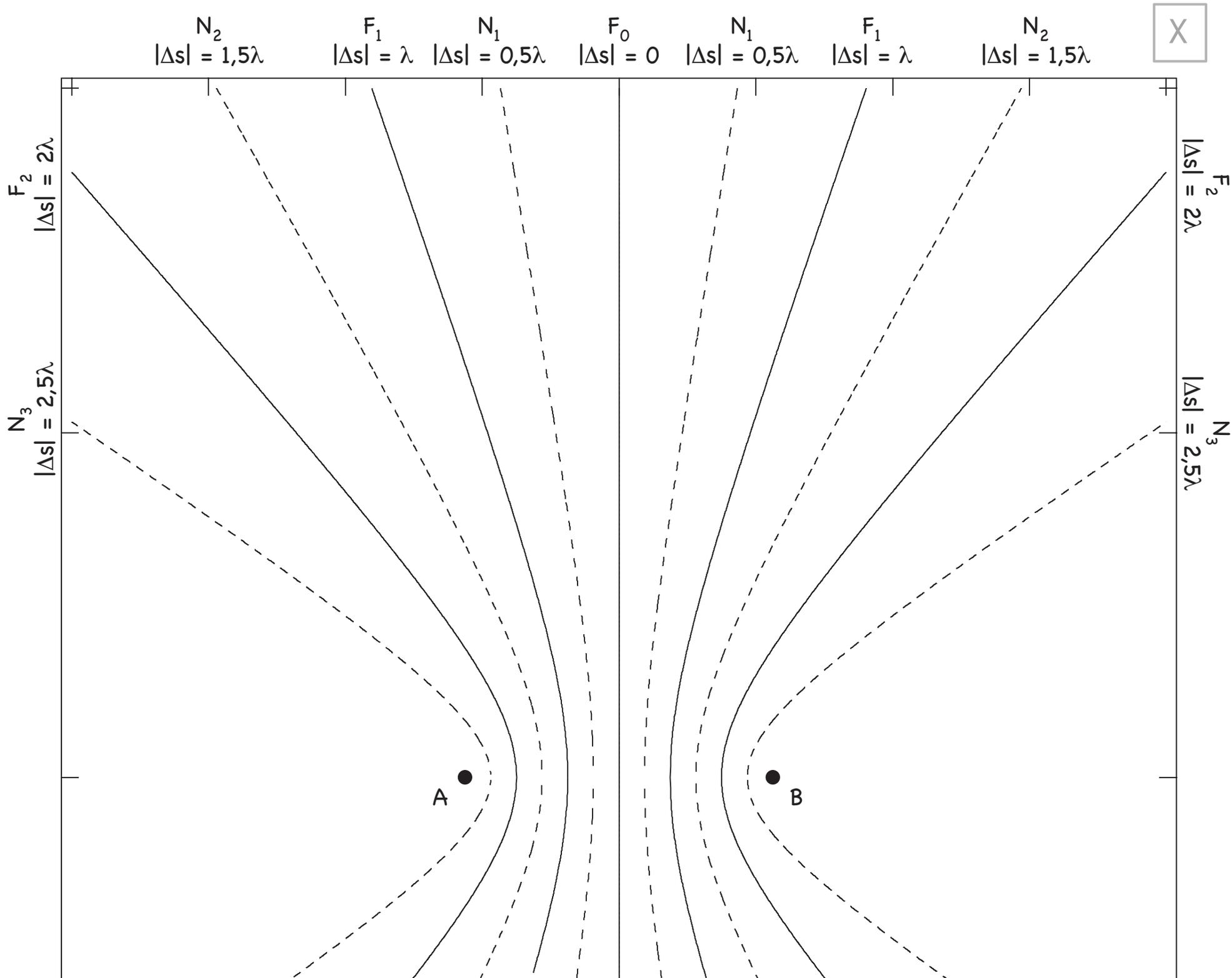


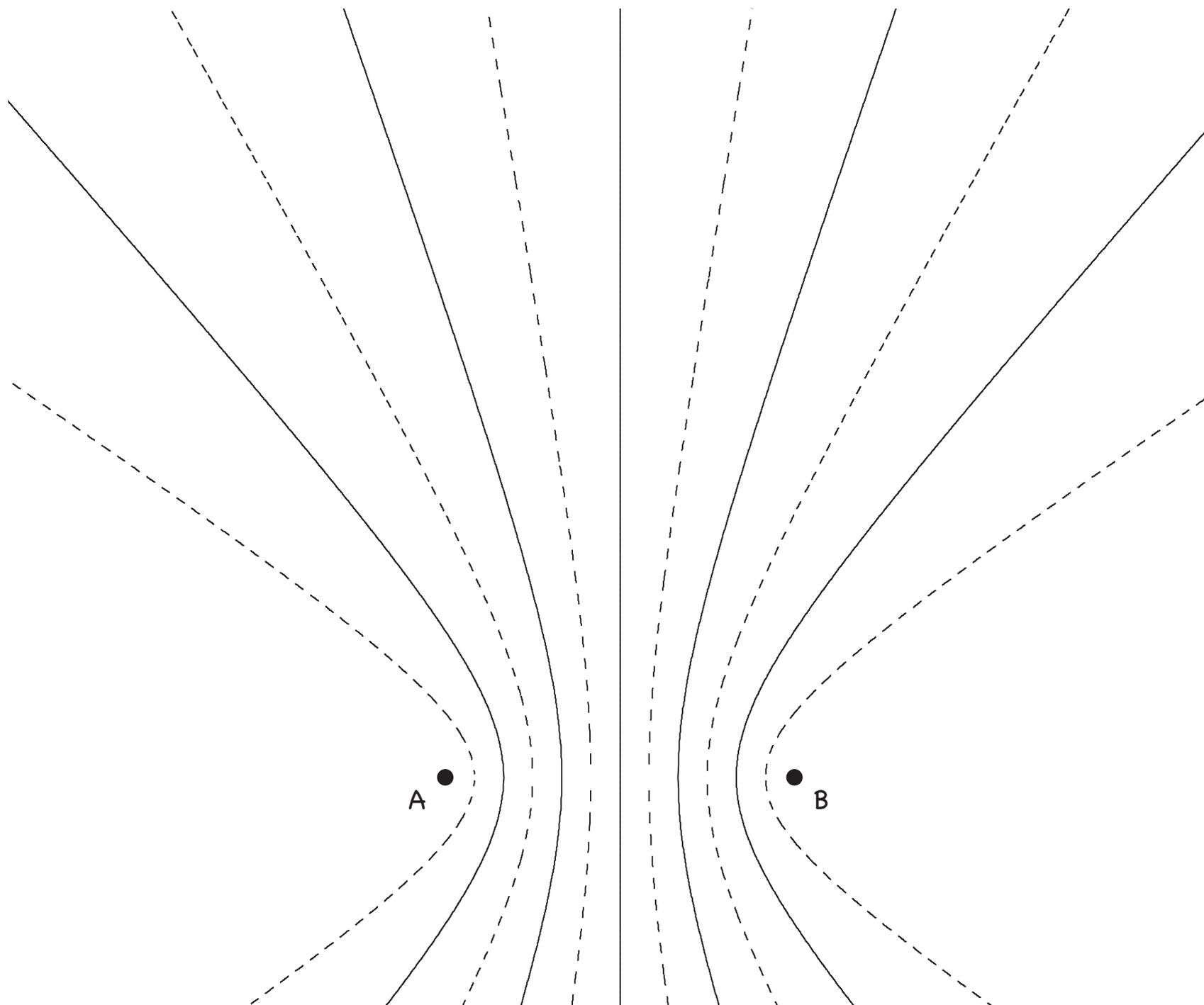
N_2 F_1 N_1 F_0 N_1 F_1 N_2
 $|\Delta s| = 1,5\lambda$ $|\Delta s| = \lambda$ $|\Delta s| = 0,5\lambda$ $|\Delta s| = 0$ $|\Delta s| = 0,5\lambda$ $|\Delta s| = \lambda$ $|\Delta s| = 1,5\lambda$

F_2 $|\Delta s| = 2\lambda$
 N_3 $|\Delta s| = 2,5\lambda$

F_2 $|\Delta s| = 2\lambda$
 N_3 $|\Delta s| = 2,5\lambda$









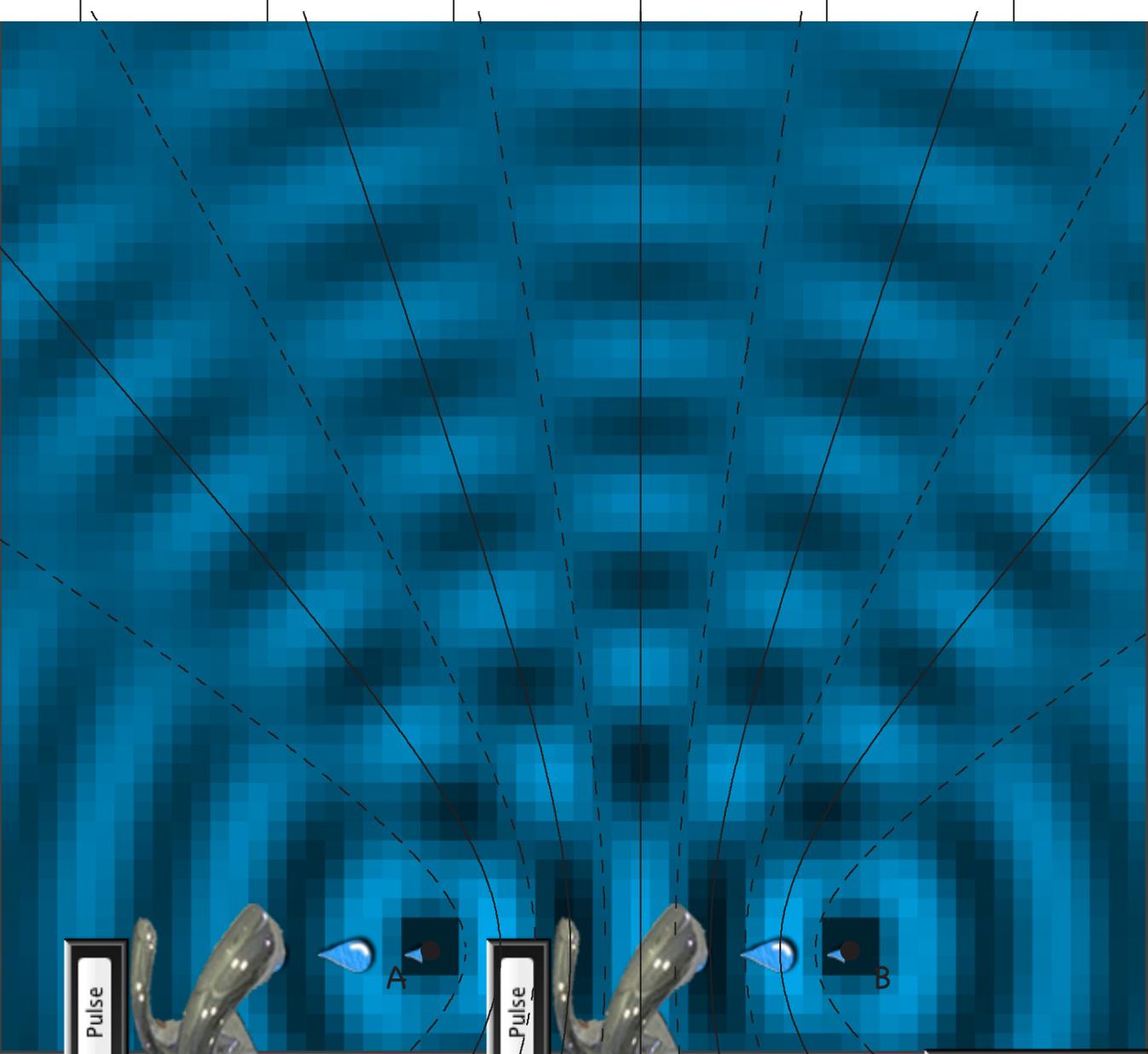
N_2 F_1 N_1 F_0 N_1 F_1 N_2
 $|\Delta s| = 1,5\lambda$ $|\Delta s| = \lambda$ $|\Delta s| = 0,5\lambda$ $|\Delta s| = 0$ $|\Delta s| = 0,5\lambda$ $|\Delta s| = \lambda$ $|\Delta s| = 1,5\lambda$

F_2
 $|\Delta s| = 2\lambda$

N_3
 $|\Delta s| = 2,5\lambda$

F_2
 $|\Delta s| = 2\lambda$

N_3
 $|\Delta s| = 2,5\lambda$



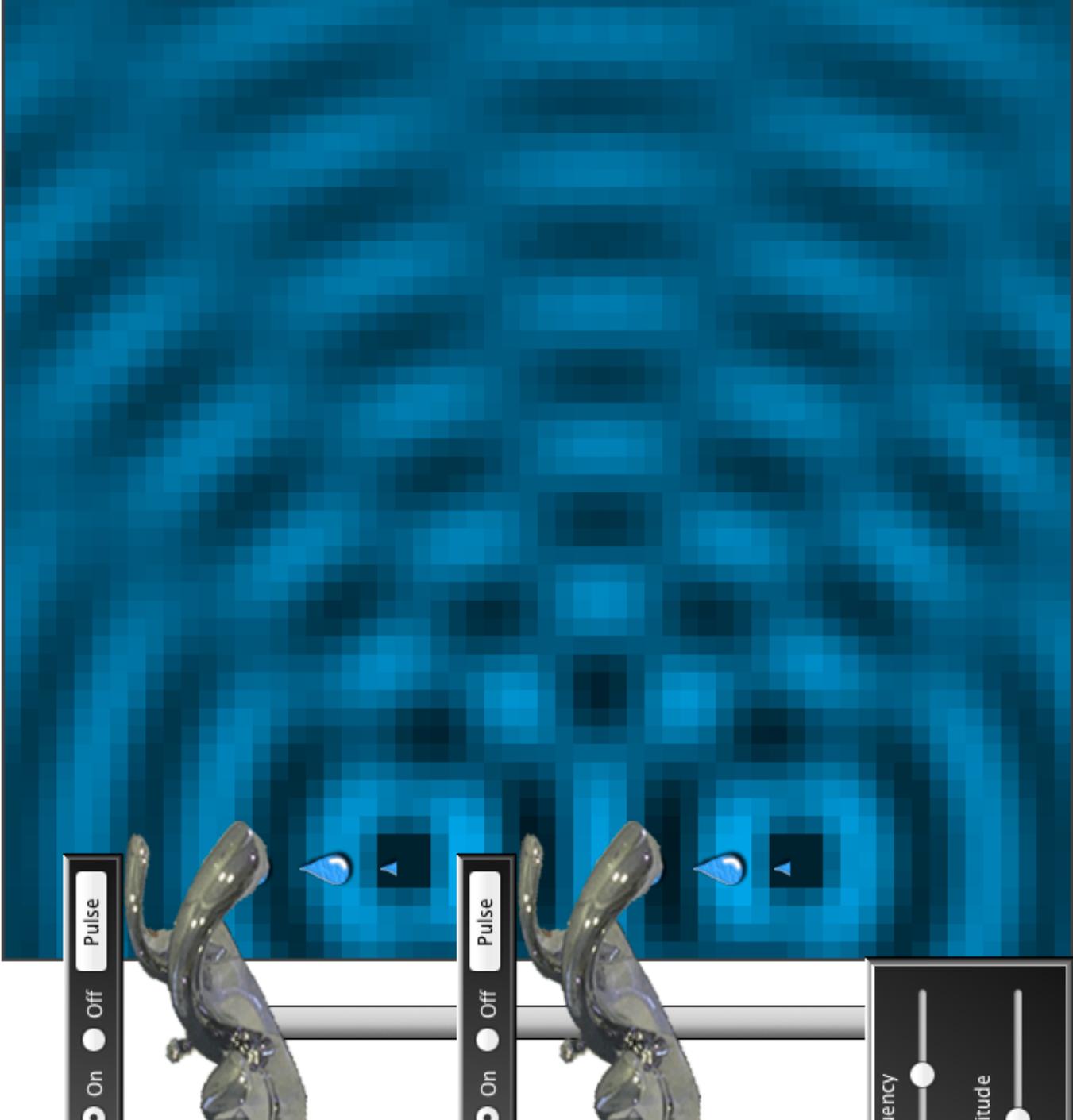
On Off Pulse

On Off Pulse

Frequency

Amplitude

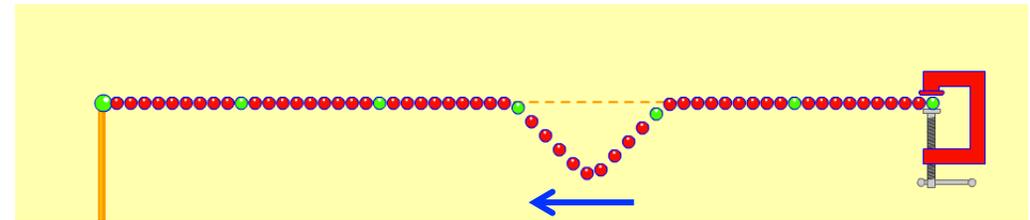
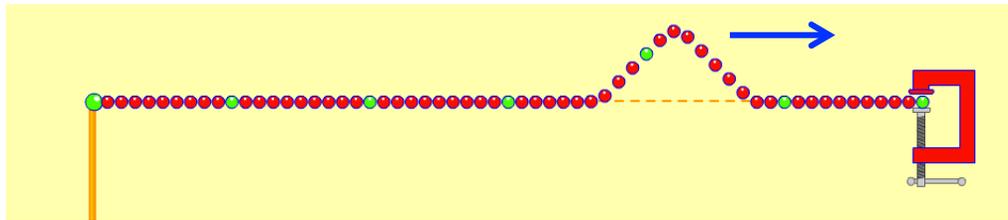




Reflektion av pulser/vågor (1D)



Reflektion mot fast punkt: **Pulsen vänds**





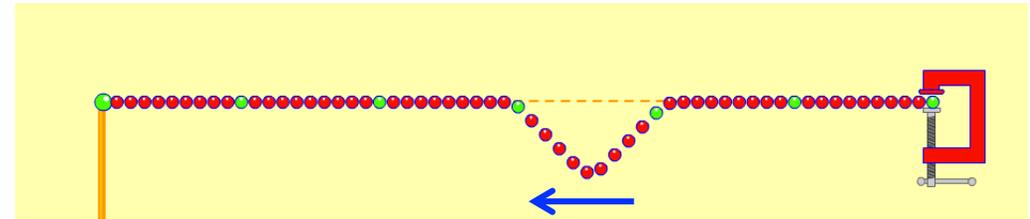
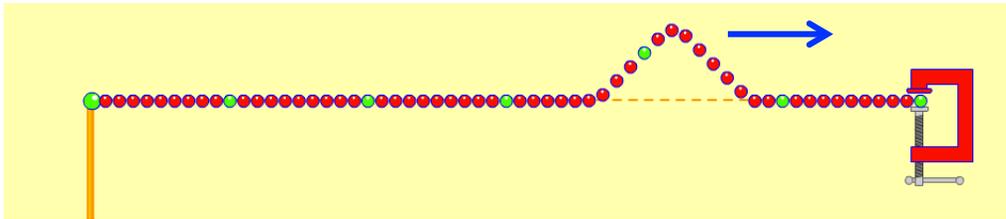
Reflektion av pulser/vågor (1D)



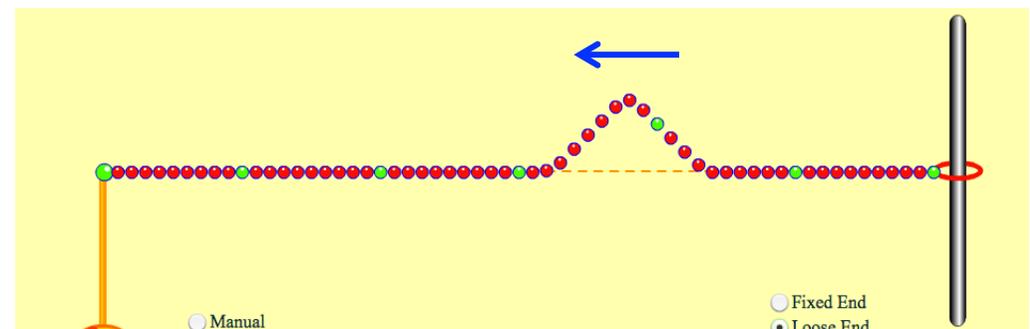
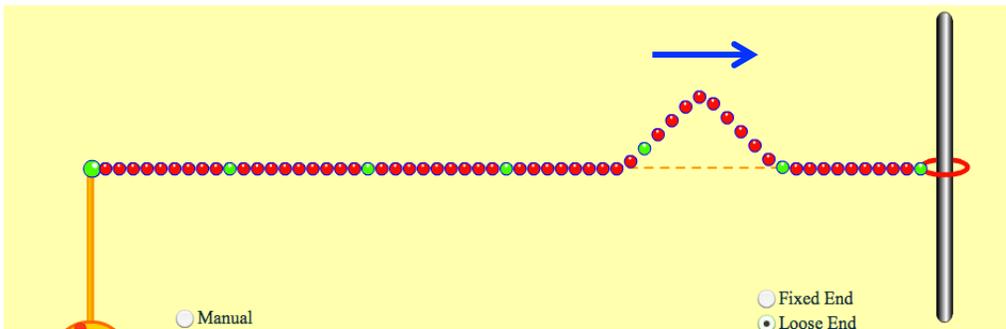
20

[15]

Reflektion mot fast punkt: **Pulsen vänds**



Reflektion mot fri ände: **Pulsen vänds ej**



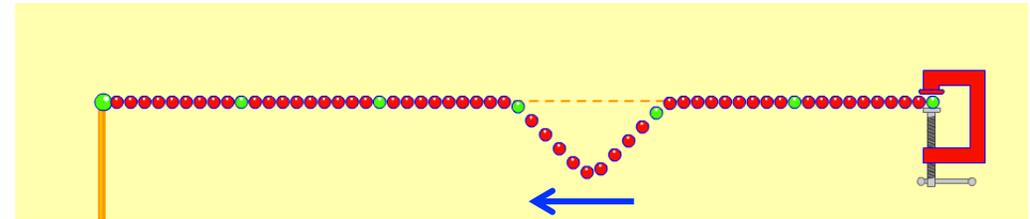
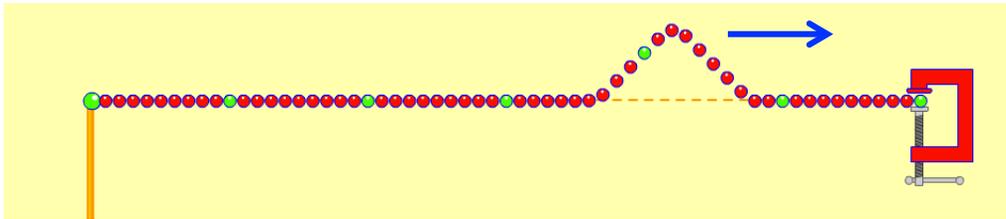
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

Reflektion av pulser/vågor (1D)

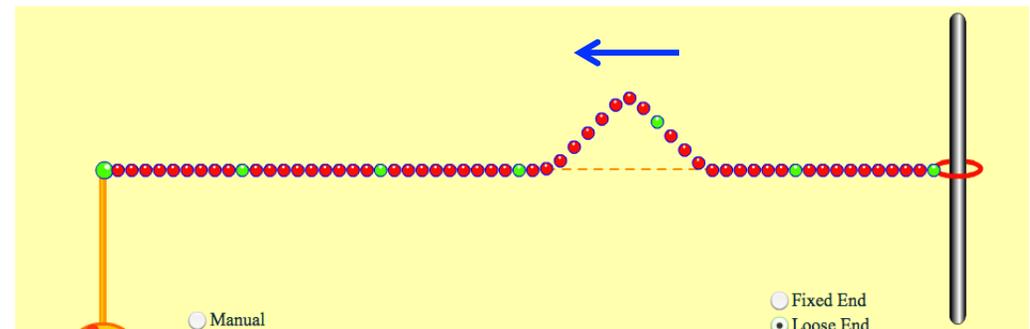
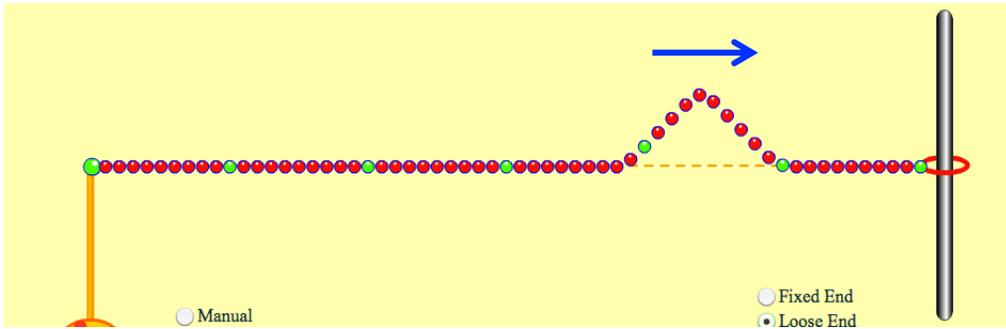


[15]

Reflektion mot fast punkt: **Pulsen vänds**

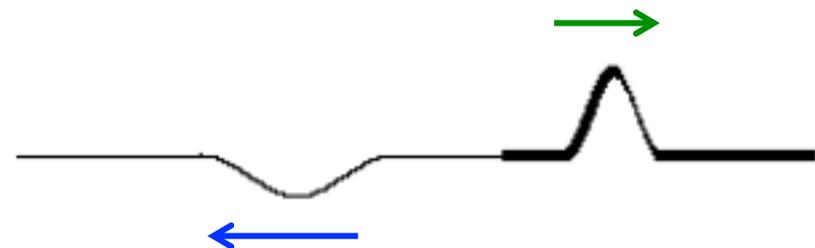
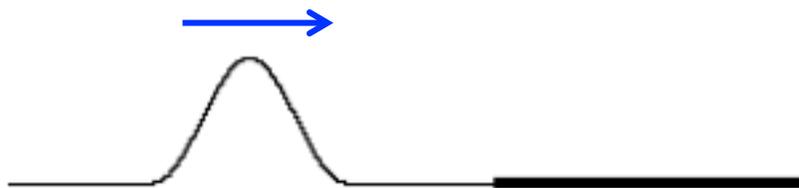


Reflektion mot fri ände: **Pulsen vänds ej**



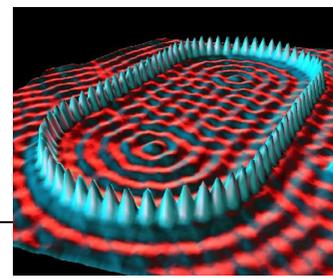
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>

Puls/våg när gränsskikt mellan två medier: **Reflektion** och **transmission**



<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/reflect/reflect.html>

Stående vågor (1D)



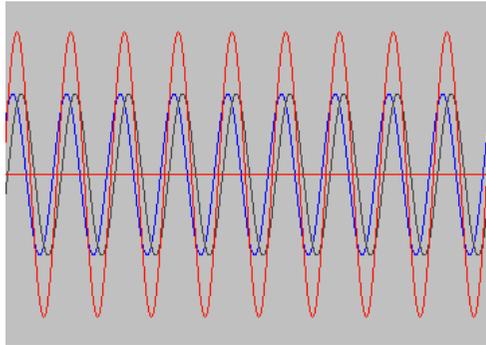
[14]



21

[13]

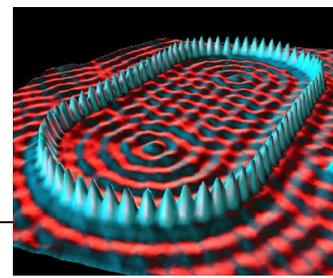
Två vågor med samma frekvens som rör sig i motsatta riktningar → **stående våg**



[15b]

Ingen energitransport!

Stående vågor (1D)



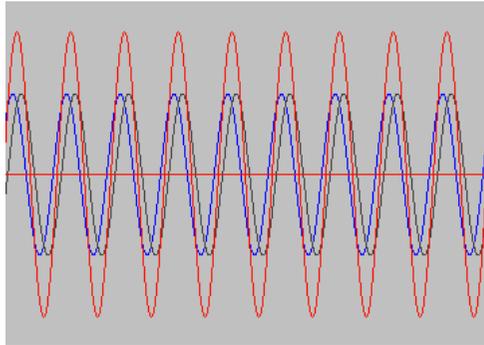
[14]



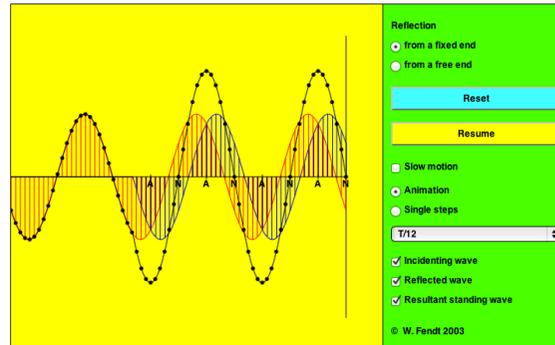
21

[13]

Två vågor med samma frekvens som rör sig i motsatta riktningar → stående våg



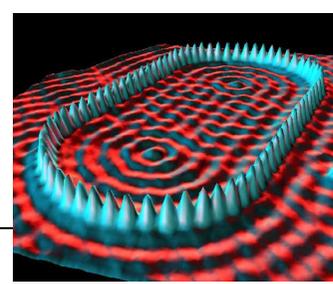
[15b]



[16]

Ingen energitransport!

Stående vågor (1D)

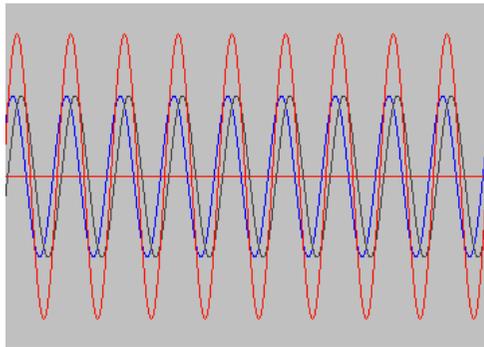


[14]

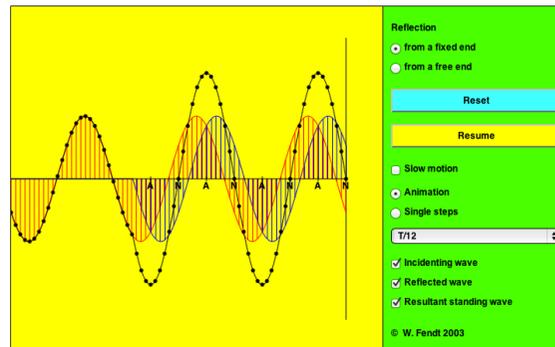


[13]

Två vågor med samma frekvens som rör sig i motsatta riktningar → **stående våg**



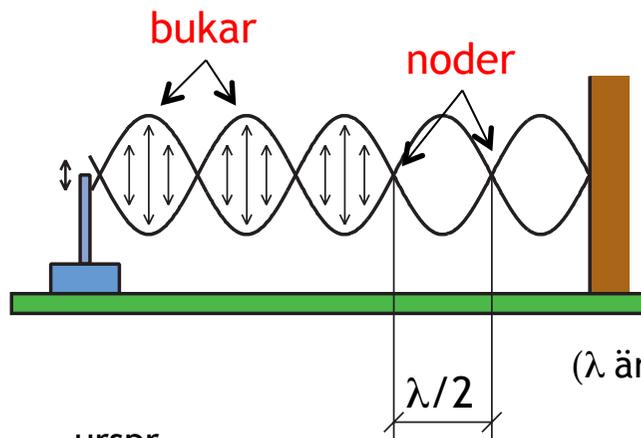
[15b]



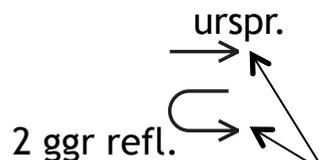
[16]

Ingen energitransport!

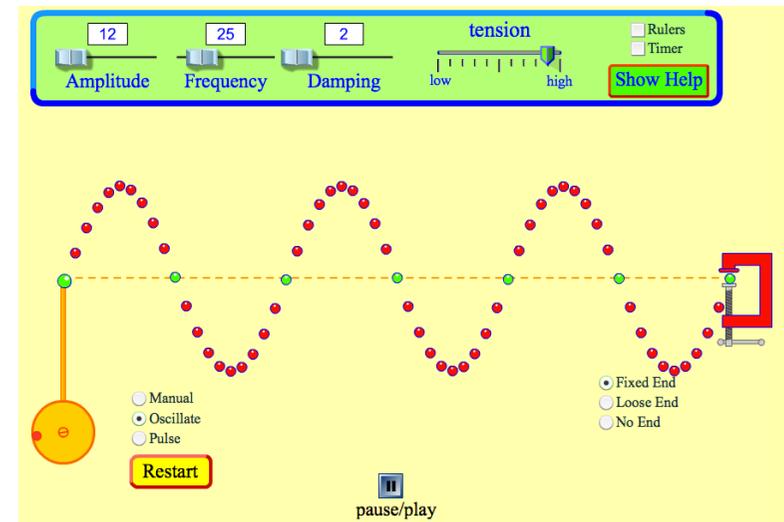
I praktiken: T.ex. spänd sträng



(λ är delvågornas våglängd)



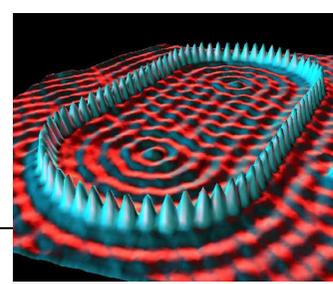
Måste vara i fas!



[17]

Stående våg i sträng/rör bara för vissa frekvenser!

Stående vågor (1D)

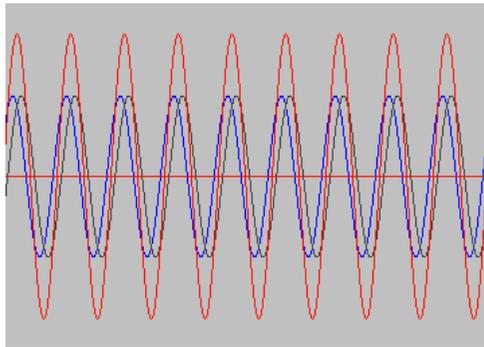


[14]

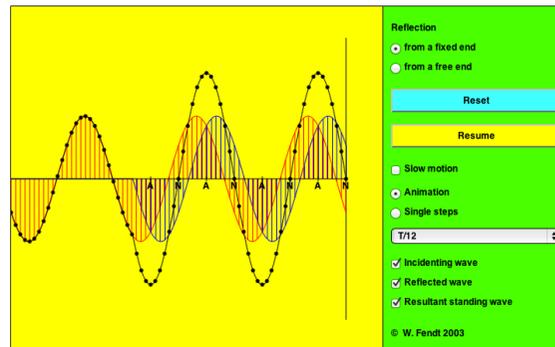


[13]

Två vågor med samma frekvens som rör sig i motsatta riktningar → **stående våg**

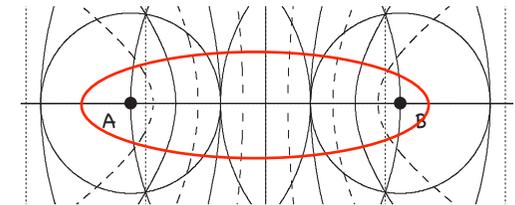


[15b]

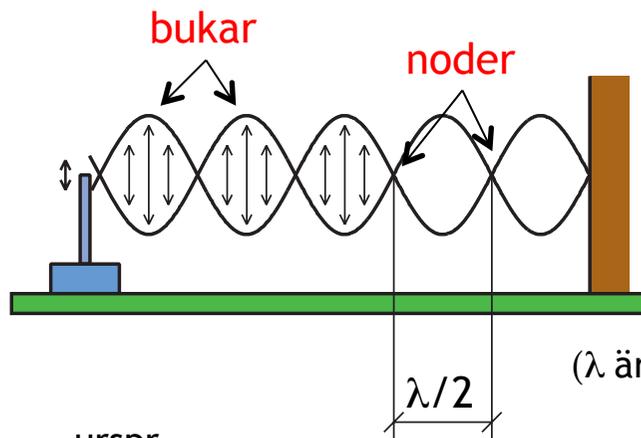


[16]

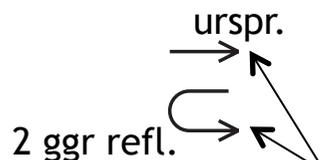
Ingen energitransport!



I praktiken: T.ex. spänd sträng



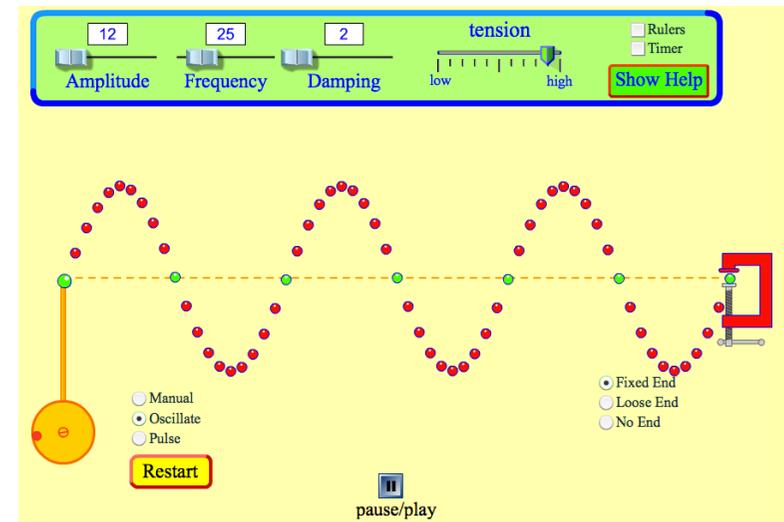
(λ är delvågornas våglängd)



Måste vara i fas!



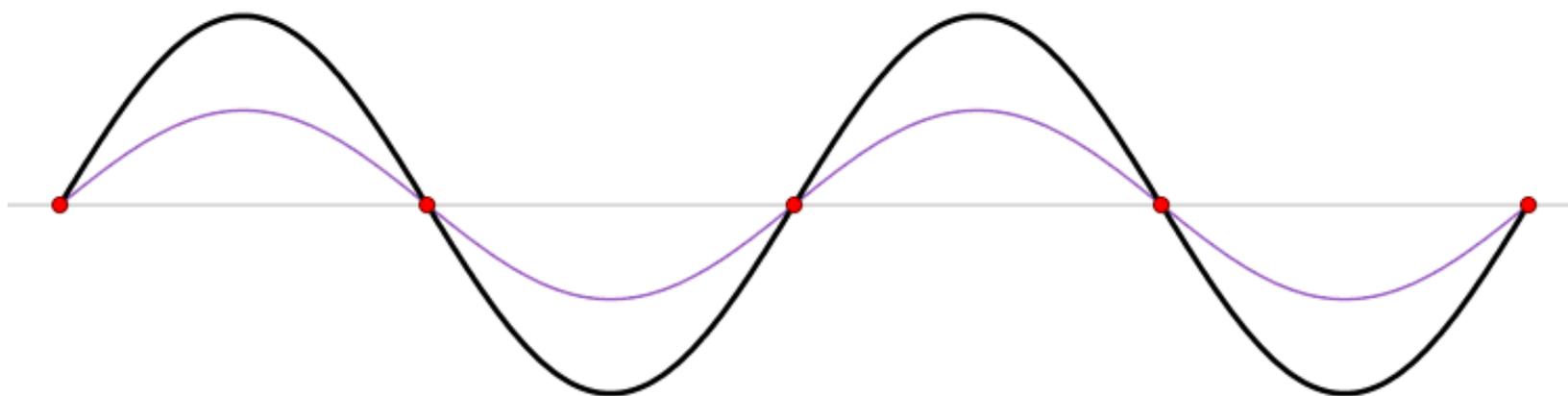
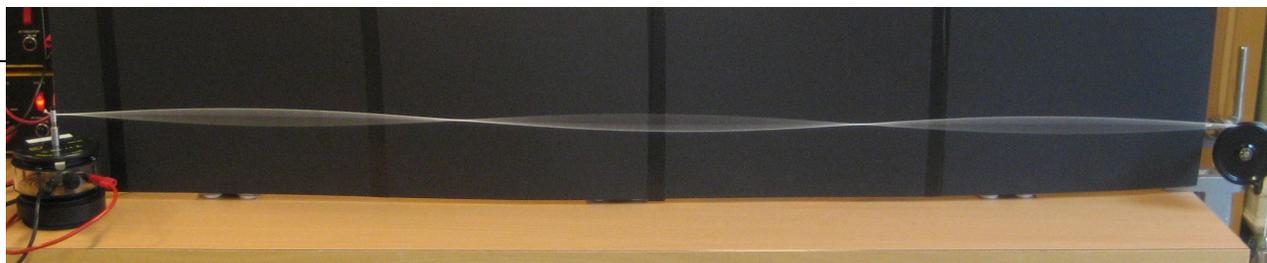
Stående våg i sträng/rör bara för vissa frekvenser!



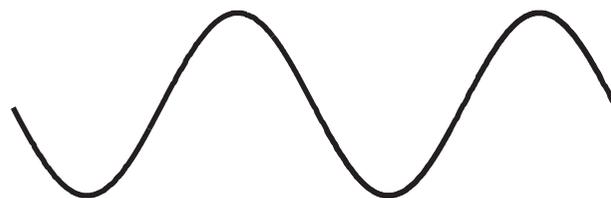
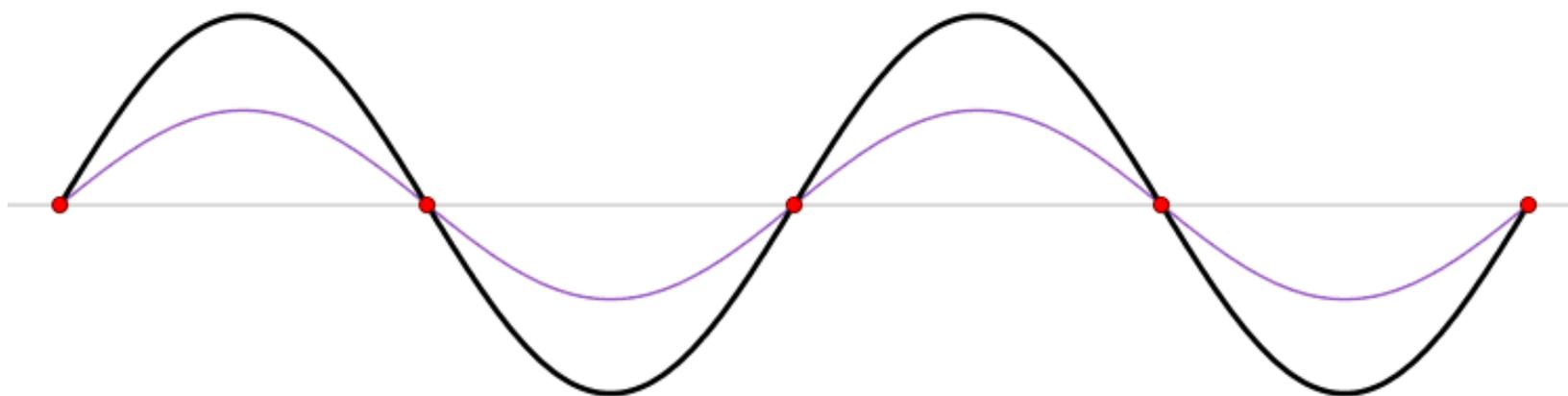
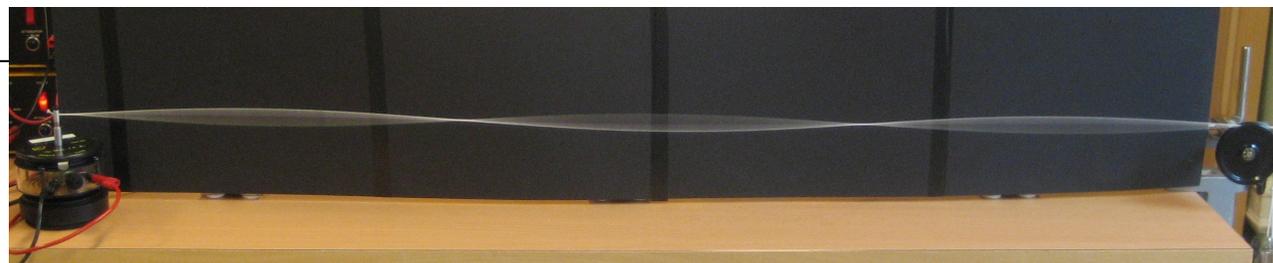
[17]



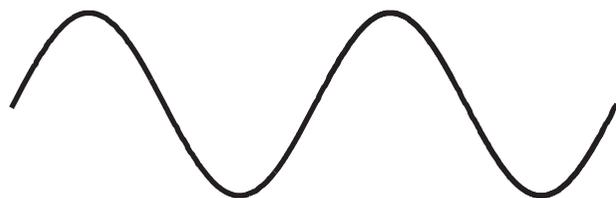
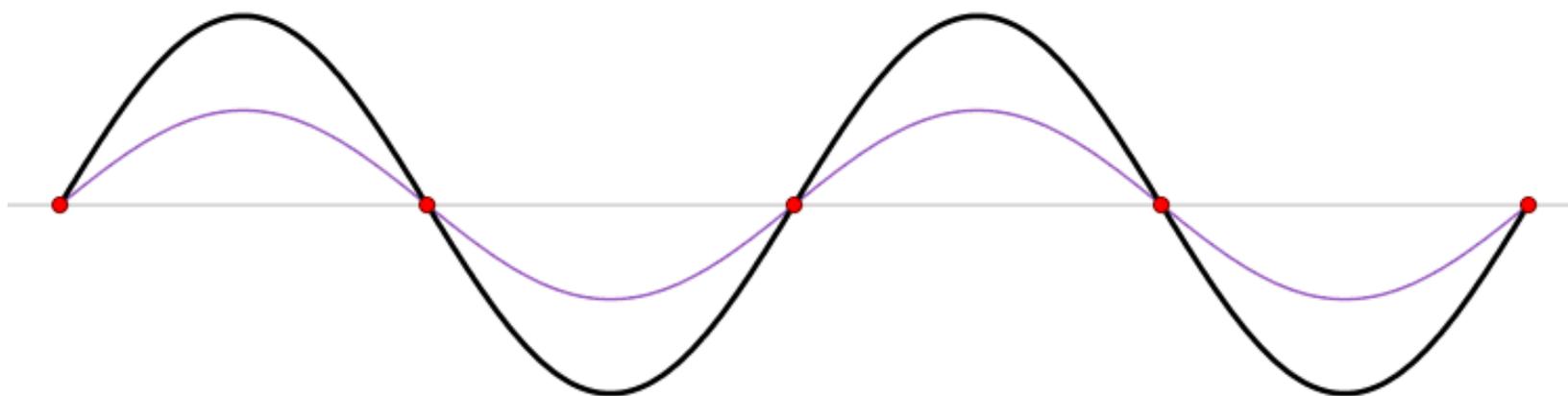
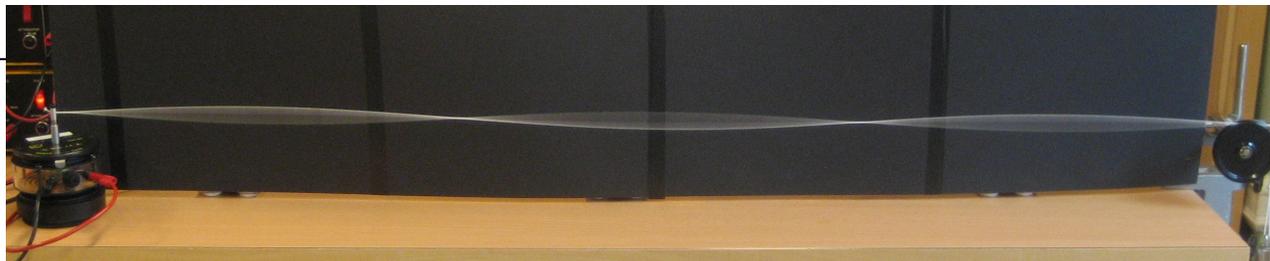
Stående vågor (1D)



Stående vågor (1D)

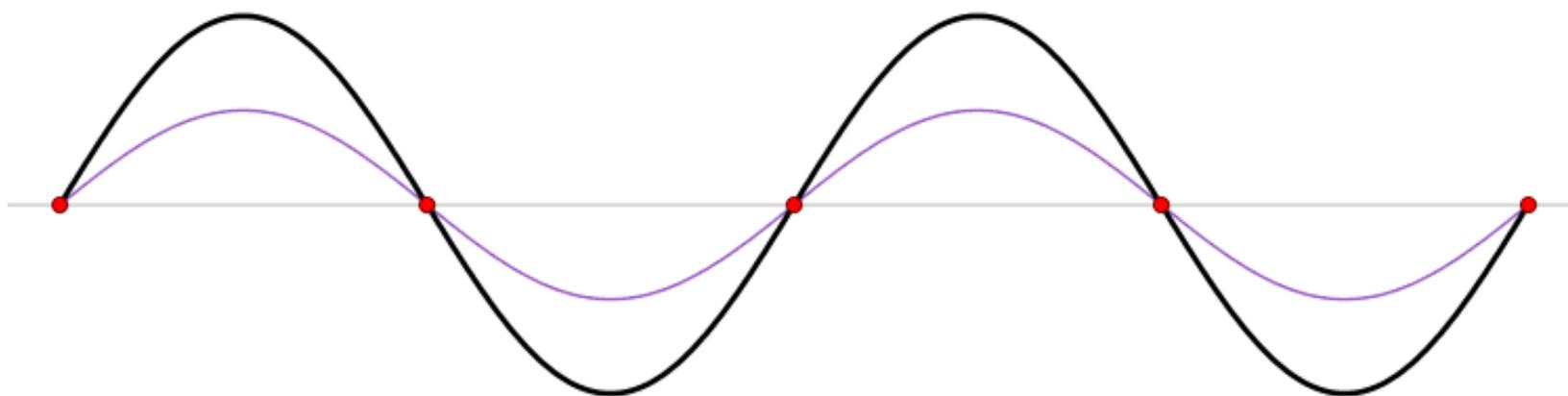
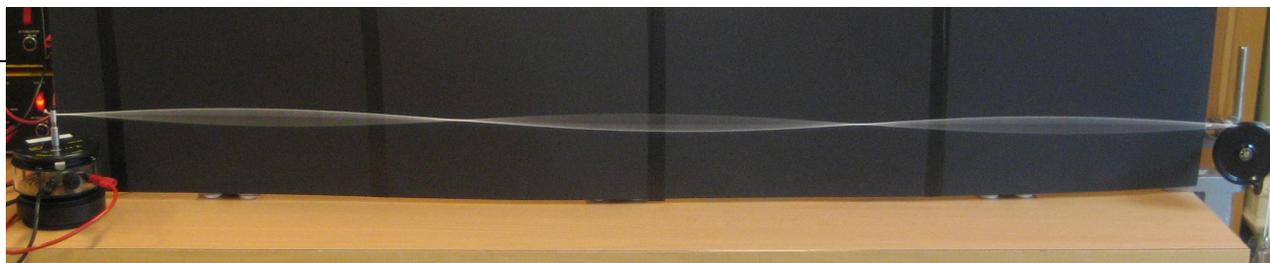


Stående vågor (1D)

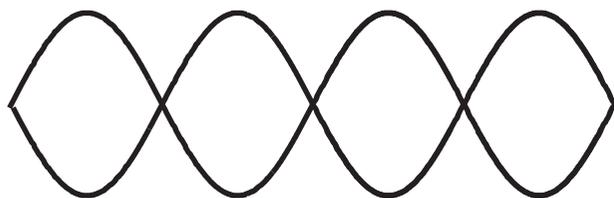




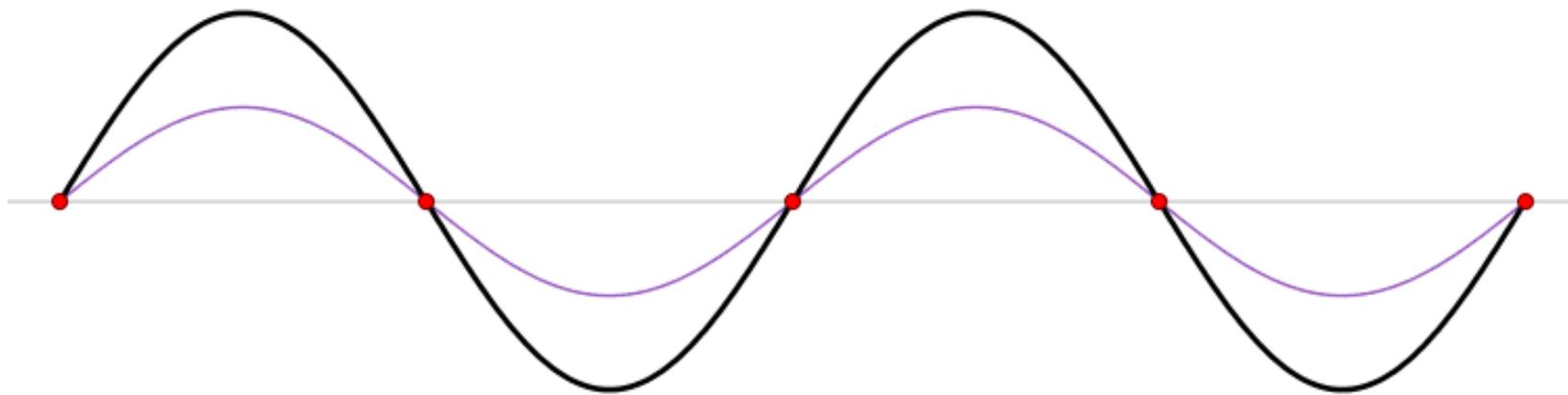
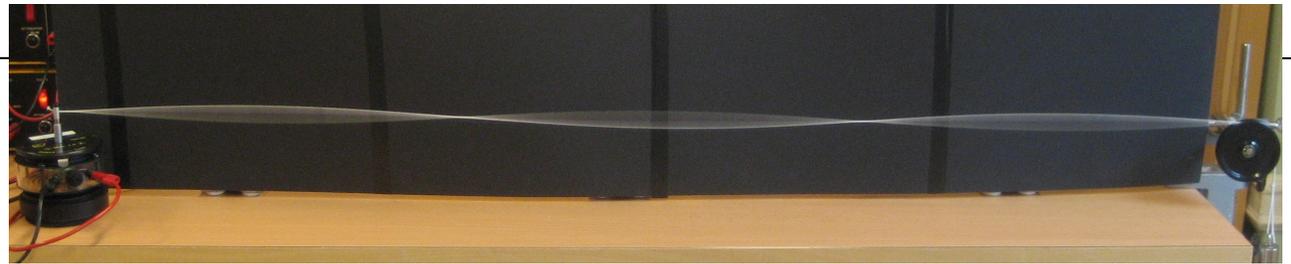
Stående vågor (1D)



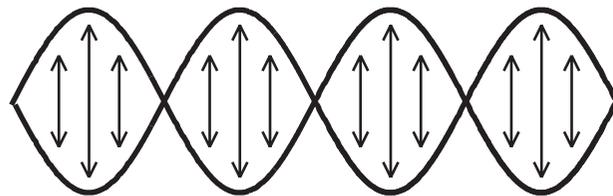
[18]



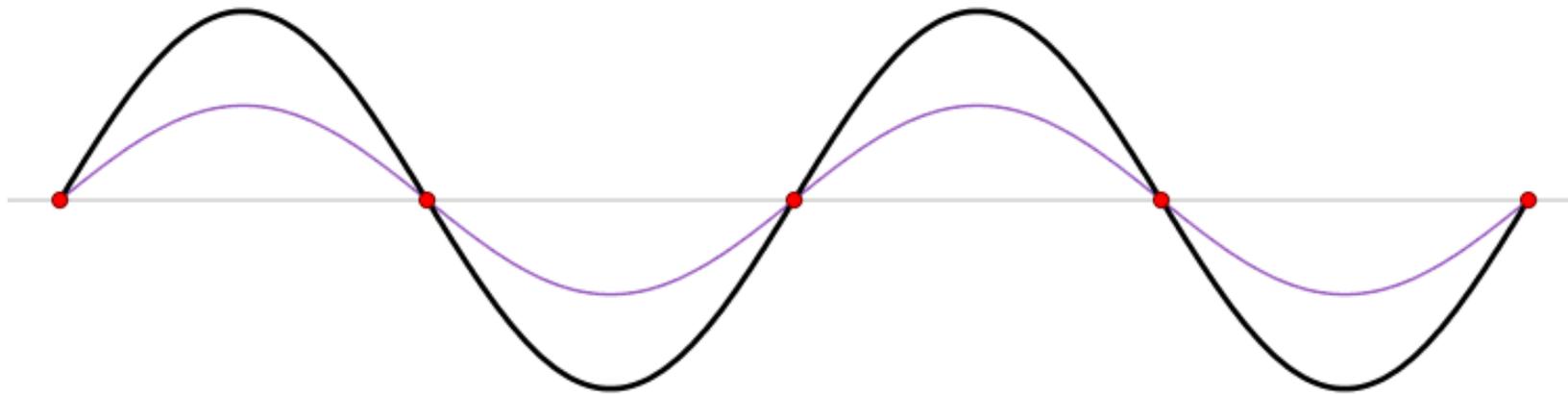
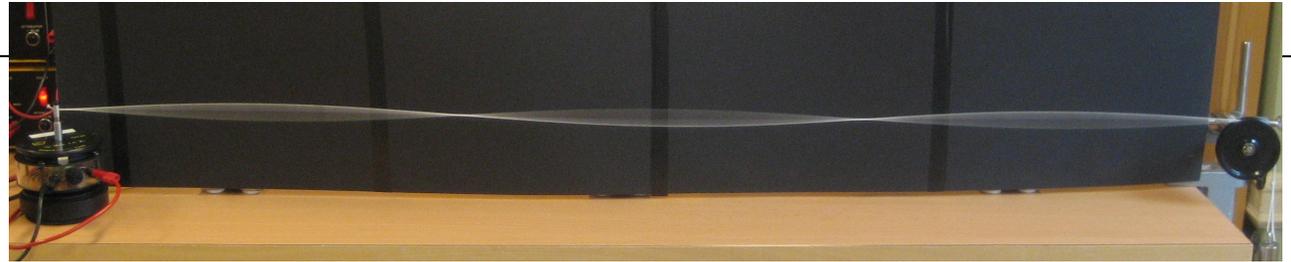
Stående vågor (1D)



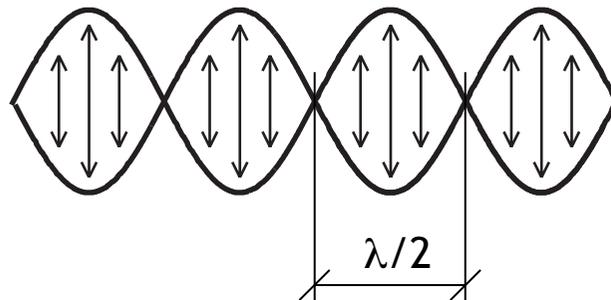
[18]



Stående vågor (1D)



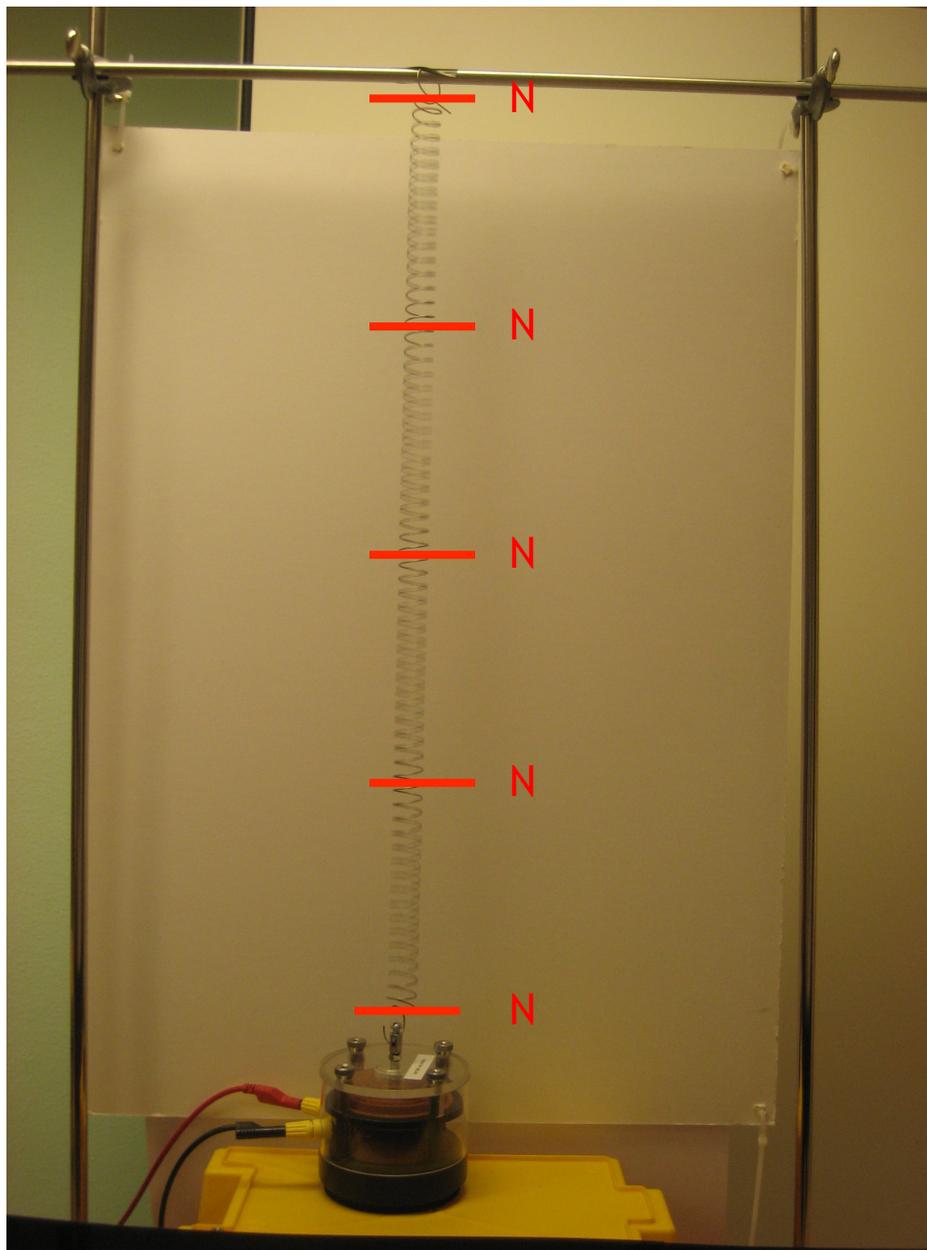
[18]



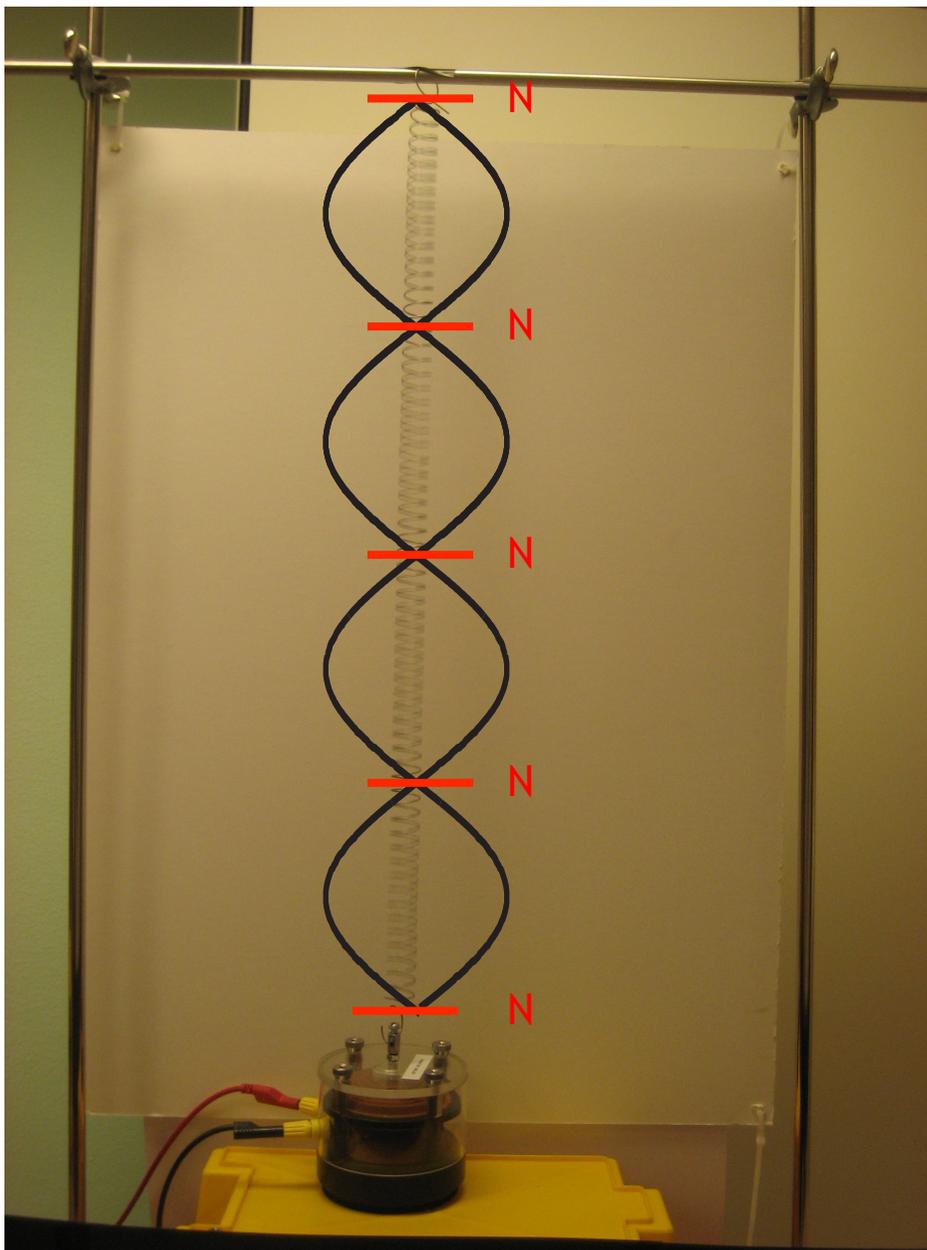
Stående våg i fjäder



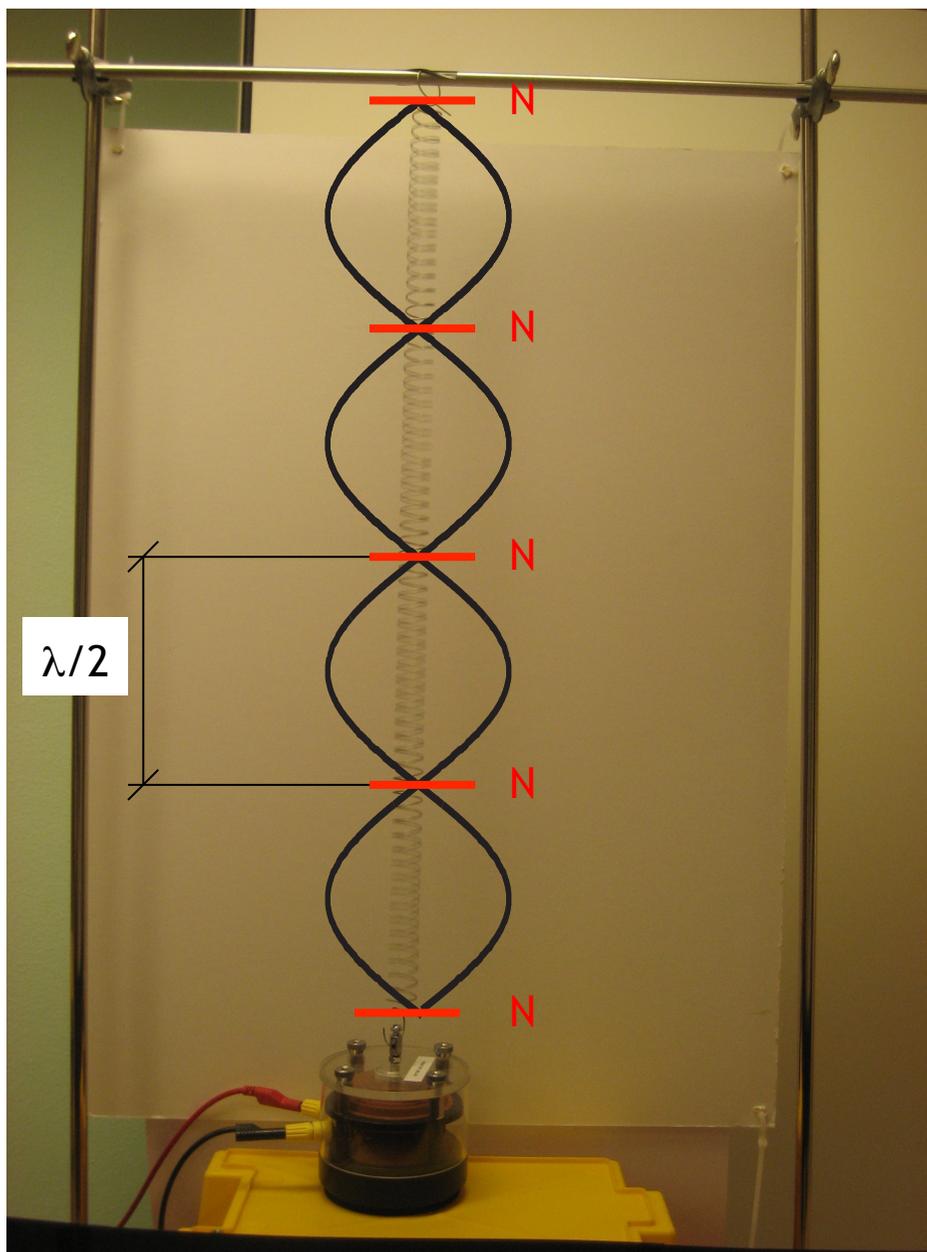
Stående våg i fjäder



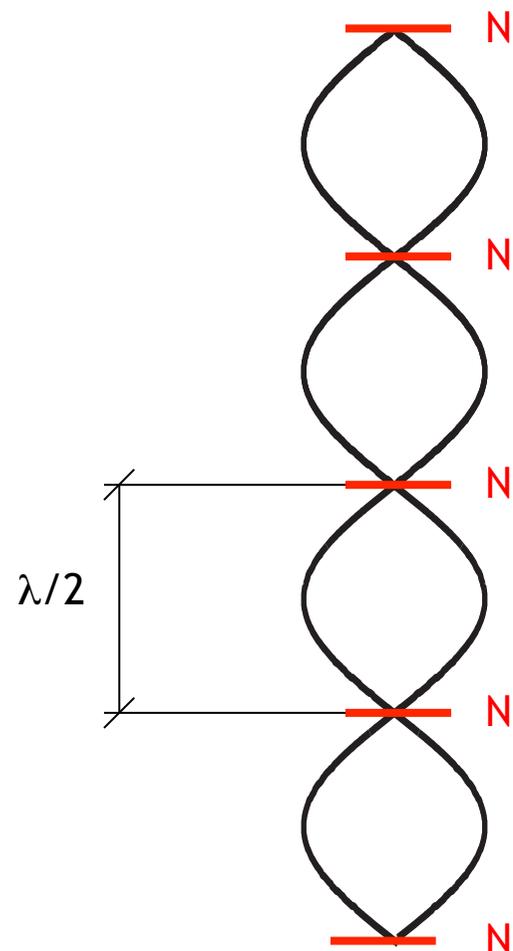
Stående våg i fjäder



Stående våg i fjäder



Stående våg i fjäder



Källor

- [1] Formelsamling för Teknologi och Konstruktion M av S. Lönnlid och R. Norberg (Stockholm, 1986), s. 12
- [1b] https://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_testing
- [1c] <https://www.youtube.com/watch?v=W9utiQ5iodk>
- [1d] https://en.wikipedia.org/wiki/Nephila_clavipes
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Swing_\(seat\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Swing_(seat))
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Dachshund>
- [4] <http://sv.wikipedia.org/wiki/Ullevi> <https://www.expressen.se/gt/noje/springsteens-tidigare-spelningar-i-goteborg/>
- [5] <http://www.hakanpettersson.se/blogg.php?id=2260>
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_wave
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_wave
- [7a] <https://www.youtube.com/watch?v=zLAmF0H-FTM>
- [7b] Allt LIGO-material är taget från <https://www.ligo.caltech.edu/gallery>
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thurso>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater_\(structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Breakwater_(structure))
- [11] <http://academics.wellesley.edu/Physics/Tbauer/Poisson/>
- [12] [http://de.wikipedia.org/wiki/Interferenz_\(Physik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Interferenz_(Physik))
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Mark_knopfler
- [14] http://researcher.ibm.com/researcher/view_project_subpage.php?id=4252
Fe-atomer på Cu(111).
- [15] http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Berliner_Fußgängertunnel
- [15b] <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=19.0>
- [16] http://www.walter-fendt.de/html5/phen/standingwavereflection_en.htm
- [17] <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/wave-on-a-string>
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave#/media/File:Standing_wave_2.gif
- [19] https://www.youtube.com/watch?v=CR_XL192wXw