

Moviment Ondulatori

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=49

Simulador amb quatre generadors d'ones. Permet variar la velocitat de propagació i la fase de les ones, la distància entre els focus i observar la superposició de les ones.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=47

Simulador que permet superposar dos moviments ondulatoris per a obtenir la imatge gràfica d'una ona estacionària.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=47

Simulador que mostra les interferències originades per les ones emeses per una font fixa i una altra en moviment. Disposa d'un regle per a mesurar distàncies.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=47

Applet que permet produir i observar interferències d'ones emeses per dos focus puntuals.

Consisteix en una cubeta plana amb aigua o líquid acolorit i diferents plaquetes de fusta o metall per crear els diferents fenòmens.

5.4.- Ones de so

Amb l'ajuda de mesuradors de so es pot fer un estudi de les diferents zones del recinte educatiu i proposar mesures de correcció

Pagines Web Relacionades:

http://www.xtec.cat/~cfernand/magnituds/ones_caracteristiques.htm

<http://ca.wikipedia.org/wiki/Ona>

http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/mas/MAS_indice.htm

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/MovOndulatorio.html>

<http://www.educaplan.org/play-121-Movimiento-arm%C3%B3nico-simple.html>

<http://www.fisicahoy.com/fisicaUAM/problemas/fisica.html>

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=22

Simulador per observar i analitzar el moviment harmònic simple d'un pèndul i una molla.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=26

Simulador que reproduïx la superposició de dos moviments harmònics simples en un punt.

<http://www.xtec.cat/~ocasella/applets/ones/appletsol.htm>

Applet que simula la propagació d'una ona i el moviment d'una partícula del medi. BR>

<http://www.xtec.cat/~ocasella/applets/interf/appletsol.htm>

Applet que simula les interferències entre les ones originades per dos focus puntuals

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/Ondas_bach_indice.htm

Trets generals, classificació, descripció matemàtica de les ones. Fenòmens ondulatoris: reflexió, refracció, interferències, ones estacionàries, efecte Doppler. Amb animacions i applets sobre generació d'ones transversals i longitudinals, ones harmòniques transversals en una corda, interferències d'ones, etc.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=50

Simulador que reproduïx i permet interpretar la propagació d'una ona sonora a través de l'aire i la formació d'eco.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=43

Simulador que reproduïx i dona informació sobre la realització d'una ecografia.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=44

Simulador de generadors de sons de freqüències molt properes que permet escoltar l'aparició de pulsacions. Permet identificar la freqüència de dos sons desconeguts.

http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=45

Simulador per estudiar gràficament l'Efecte Doppler originat per una font en moviment. Permet mesurar la distància entre fronts d'ona.

Moviment Ondulatori

- ~ Alteracions fisiològiques en el sistema cardiovascular(augment de la pressió i el ritme cardíac)
- ~ Augment de la Adrenalina: amb un augment de l'estrès i de la agressivitat.
- ~ Danys en el sistema nerviós.

Per afrontar amb cert èxit la problemàtica acústica cal fer créixer una sensibilitat per la matèria tant en la població com en els poders públics.

A Catalunya la llei 16/2002 legisla la protecció contra la contaminació acústica, i té com a objecte previndre, vigilar i reduir la contaminació acústica, per a evitar i reduir els danys que d'esta poden derivar-se per a la salut humana, els béns o el medi ambient. En diversos estudis es consideren les comarques del Barcelonès i el Tarragonès entre altres com les zones amb pitjor qualitat acústica degut entre altres a la gran quantitat de població i de indústries localitzades a la zona.

5.- MÈTODES EXPERIMENTALS PER A L'ESTUDI

Es aquest apartat anem a proposar una sèrie d'experiments senzills per a l'estudi d'ones. Encara que a internet podem trobar diversos aplets que ens ajudaran aquest experiments són a nivell bàsic molt entenedors.

5.1.- Ones transversals amb una corda

L'equip necessari per a aquesta experiència consta d'un generador de vibracions i un conjunt de fils de diferents característiques. També ho podem crear amb dos motors que giren en direccions contraries. Amb ells podem veure els diferents harmònics i veure la relació de les magnituds de les ones, de velocitat, freqüència...

5.2.- Ones amb molles

De la mateixa forma de la corda podem estudiar les ones longitudinals en les molles al produir una vibració amb un generador o un electroiman...

5.3.- Ones estacionaria en una cubeta d'ones

S'estudia la formació d'ones en líquids i fenòmens com la difracció, les interferències...

Moviment Ondulatori

- ~ El timbre és la qualitat que conferix al so els harmònics que acompanyen a la freqüència fonamental. Esta qualitat és la que permet distingir dos sons, per exemple, entre la mateixa nota amb igual intensitat produïda per dos instruments musicals distints.
- ~ La intensitat és la quantitat d'energia acústica que conté un so, per tant, està determinada per l'amplitud.

4.2.- Sensació sonora

Hi ha que diferenciar entre la intensitat sonora, una magnitud física i la **Sensació sonora** que ens produeix. Normalment podem mesurar-la és utilitzant el nivell d'intensitat (en decibels) amb la formula: $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$ on la

intensita umbral (I_0) te un valor variable segons la freqüència i se sol utilitzar per comparar diversos valors de sons.

Per a que un so siga perceptible s'ha de complir tant el interval de freqüencies com que el umbral d'audició siga suficient. Per damunt del valor de l'umbral d'audició es produeix sensació de dolor.

4.3.- Contaminació acústica

La societat moderna és una font constant de soroll. Són fonts de soroll el trànsit rodat, les indústries, les construccions, els bars...

En els últims cinquanta anys s'ha produït un augment del soroll ambiental degut al augment de població, la mecanització de les activitats humanes...

Per la qual cosa, actualment es considera el soroll com un tipus més de contaminació susceptible d'originar efectes nocius en les persones.

Segons indica l'Organització Mundial de la Salut(OMS) es considera que per dalt de 45 dB es produeixen alteracions de la salut. Estableix un límit de 55 dB que produirien incomoditat acústica a una alt percentatge de persones i per dalt de 85 db a tota la població.

Els efectes nocius que es poden produir són:

- ~ *Pèrdua gradual de l'audició*: especialment en els joves per l'ús de casquets per a sentir música.
- ~ Interferències en la son i en la capacitat de concentració.

4.- EL SO COMO UNA ONA MECÀNICA

4.1.- Conceptes Generals

El **so** és una ona mecànica longitudinal que es pot transmetre a través dels sòlids, líquids i gasos. Con

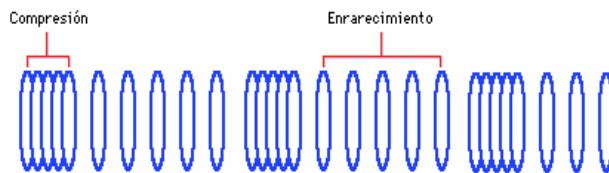


Figura 1: ona longitudinal



Figura 2: ona transversal

Il·lustración de Microsoft

qualsevol ona, és una transmissió d'energia, que es transmet després de la producció d'una vibració d'algun objecte de forma periòdica. Pot ser les cordes vocals, les cordes d'una guitarra, un instrument musical...

Si les vibracions no són periòdiques l'efecte produït rep

el nom de **Soroll**.

Realment, el so és una successió de canvis de pressió (compressions i dilatacions) en un medi (sòlid, líquid o gas), provocats per una vibració que s'hi transmet en forma d'ones sonores. La vibració provoca alteracions mecàniques a les partícules del medi creant canvis de pressió que es propaguen en totes direccions a partir del punt on hi ha la vibració.

La velocitat de propagació dependrà del medi i en general la velocitat als sòlids es major que als líquids i major que als gasos. En l'aire, aquesta velocitat és d'uns 340 metres per segon, tot i que varia amb la temperatura i la humitat.

Les ones sonores tenen les mateixes propietats de la resta d'ones mecàniques, per exemple poden reflexar-se com en els trons o en l'eco.

Però l'oïda dels humans no rep qualsevol ona sonora emessa, per q que siguin perceptibles han de trobar-se entre els 20 Hz i els 20KHz que constitueixen els límits d'audició, amb àmplies variacions en funció de l'amplitud. Per damunt i per sota d'aquest rang hi ha els ultrasons i els infrasons, respectivament.

El atributs, característiques o qualitats del so són:

- ~ El to ve determinat per la freqüència fonamental de les ones sonores i és el que ens permet distingir entre sons greus, aguts o mitjos.

Per tronar l'equació d'ona sols tenim que aplicar el principi de superposició:

$$y = y_1 + y_2 = A_1 \sin(\omega t + kx) + (-A_1) \sin(\omega t - kx) =$$
$$A_1 (\sin(\omega t + kx) - \sin(\omega t - kx)) = 2A \sin kx \cos \omega t$$

Aquesta equació correspon a un harmònic, on A es funció de x.

directa i s'allunyen en la part esquerra, d'on s'allunya l'objecte. Si recordem que

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

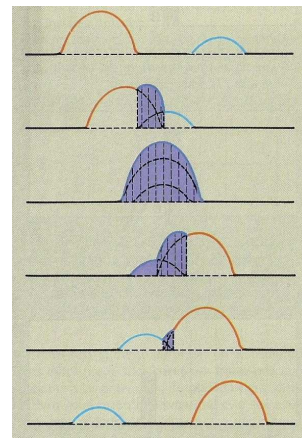
- ~ L'observador 1 veu que s'apropen. Com en aquest cas les longitud d'ona són petites, la freqüència serà major.
- ~ L'observador 2 veu que s'allunya. Com en aquest cas les longitud d'ona són grans, la freqüència serà més petita.

Les aplicacions d'aquest fenomen són múltiples des de la construcció i funcionament dels dispositius radars fins a la explicació del moviment de les galàxies.

3.5.- Principi de Superposició. Interferències

Aquesta situació es produeix quan dues ones d'identica naturalesa coincideixen en una mateixa regió de l'espai al mateix temps. Es genera una ona resultant que és diferent de les anteriors, però que compleix el **Principi de superposició**, que estableix que

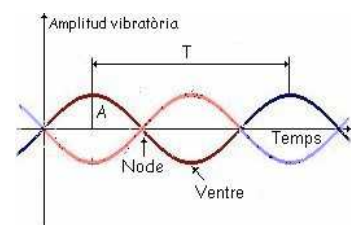
“quan es propaguen dues o més ones en un medi, la pertorbació resultant en cada punt del medi és igual a la suma de les pertorbacions que produirien cadascuna per separat”.



Podem trobar tres tipus d'interferència:

- ~ Constructiva: Quan l'amplitud resultant és màxima.
- ~ Destructiva: Quan l'amplitud resultant és nul·la.
- ~ Parcialment Constructiva: Situació intermèdia.

Als punts en el pla amb una interferència destructiva s'anomenen **Nodes** i als de interferència constructiva **Ventres**.



Un cas interessant d'interferències són les ones estacionàries. Es produeixen sempre que una ona troba un obstacle que n'impedeix la seva propagació, i origina una ona reflectida que origina un canvi de fase de π radians.

Moviment Ondulatori

es propagarà amb la mateixa velocitat de l'ona incident però amb la direcció d'un angle α_R respecte a la normal de igual valor que l'angle incident, constituint la llei de la reflexió.

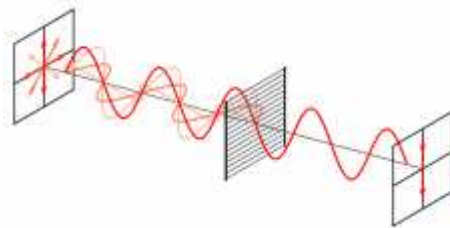
En la **Refracció** una part de la ona penetra en el segon medi tot variant la seva velocitat i formant l'ona *refractada*. Aquesta es transmet a una velocitat v_2 i amb un angle α'_R . Per trigonometria deduirem la llei de la refracció o llei de

Snell.
$$\frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha'_R} = \frac{v_1}{v_2}$$

3.3.- Polarització

Aquest fenomen sols es pot observar amb les ones transversals. Donada una direcció de propagació hi ha infinites direccions d'oscil·lació. Una Ona estarà **Polaritzada** quan sols hi te una vibració en una de les possibles direccions perpendiculars a la direcció de propagació.

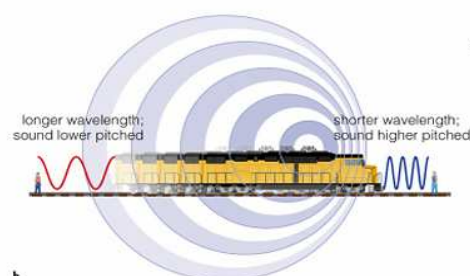
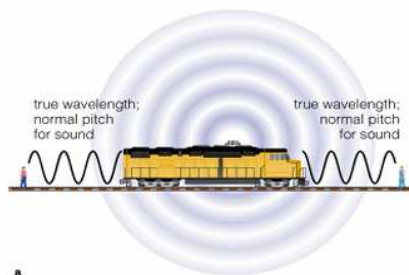
Aquest fenomen cobra molta importància en el cas de la llum, i va servir per a demostrar que la llum era una ona.



3.4.- Efecte Doppler

Té lloc quan una font d'ones i un observador es mouen l'un respecte de l'altre. En aquesta situació, la freqüència d'ones observades és diferent de la freqüència emesa.

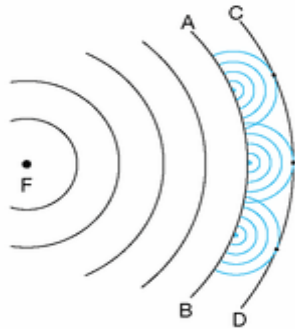
EL exemple mes senzill es amb les ones sonores. Si considerem una font d'ones sonores circulars veiem que arriben a un observador que es troba fix al cap d'un cert temps.(cas a)



Però si la font o l'observador es troba en moviment (cas b) les ones no seran concèntriques. Es produeix un apropament a la part del moviment per exemple la part

3.- FENÒMENS CARACTERÍSTICS DELS MOVIMENTS ONDULATORIS

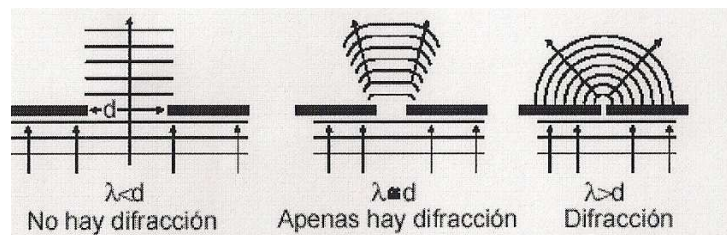
3.1.- Principi de Huygens. Difracció



El principi de Huygens estableix que qualsevol punt al qual arriba la pertorbació transmesa per una ona es comporta com un nou focus emissor d'ones secundàries, les quals es propaguen en totes les direccions amb la mateixa velocitat de fase. És un model adequat per a explicar de forma molt intuïtiva que és el que s'esdevé quan una ona mecànica es

propaga per un medi determinat, però no és vàlid per a ones electromagnètiques, ja que no hi ha oscil·lació de partícules, sinó de camps elèctrics i magnètics.

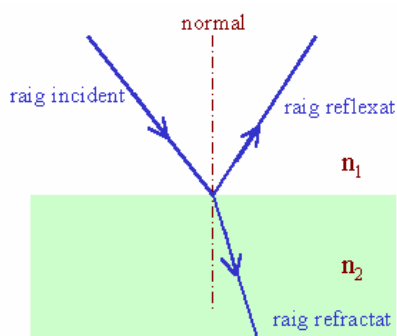
La **Difracció** s'explica fàcilment amb el principi de Huygens. És la distorsió o variació en la direcció de propagació d'una ona quan



aquesta troba un obstacle en la seva transmissió, sempre que tingui unes dimensions comparables a la seva longitud d'ona.

3.2.- Reflexió i Refracció

Aquest dos fenòmens es produeixen per la diferent velocitat de propagació



d'una ona que anomenarem incident i que es propaga amb una v_1 , sent al arribar a un medi diferent del inicial fet que fa varia a la seva velocitat de fase a un valor v_2 .

En la **Reflexió** una part de la ona incident continua movent-se en el mateix medi, però varia la seva direcció formant l'ona *reflectida*. Aquesta

$y = A \sin(\omega t - kx + \varphi_0)$, i si l'ona es desplaçava de dreta a esquerra l'equació $y = A \sin(\omega t + kx)$

2.- ENERGIA DEL MOVIMENT ONDULATORI

2.1.- Energia

De la mateixa forma que hem vist l'energia d'una ona vibració obtindríem l'energia d'una ona sabent que la $E_m = E_c + E_p$

Quan en trobi a la situació d'equilibri l'ona posseirà la seva energia i correspondrà tot a energia cinètica amb el seu valor màxim.

$$E = E_{c_{\max}} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{1}{2} m (A\omega)^2$$

Però resulta mes interessant parlar de la intensitat de l'ona

2.2.- Intensitat

Definirem la **Intensitat d'ona** com l'energia que travessa cada segon la unitat de superfície perpendicular a la propagació, i com l'energia per segon és la

potencia: $I = \frac{E}{S\Delta t} = \frac{P}{S}$

Si considerem dos punts una ona circular, amb R_1 i R_2 (sent $R_2 > R_1$) podem

parlar de que: $I_1 = \frac{P}{4\pi R_1^2}$; com la potencia és la mateixa direm: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$,
 $I_2 = \frac{P}{4\pi R_2^2}$

Es pot veure que el factor IR^2 es constant, també podem considerar que al allunyar-se del focus la ona perd intensitat.

Com que l'energia és proporcional al quadrat de l'amplitud també podem veure

la relació: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2}$ i per tant veiem que l'amplitud del moviment és inversament

proporcional la distancia al focus. $\frac{A_1}{A_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Moviment Ondulatori

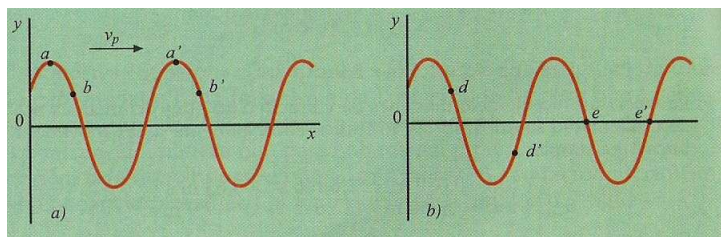
un front d'ona sempre serà perpendicular a les diferents direccions de propagació fet que ens porta a definir **Raig** com la línia recta que sigui perpendicular

1.4.- Equació d'Ona

Per a obtenció de l'equació de la ona anem a suposar un focus que emet ones transversals i fem l'estudi del que passa a un punt P situat a una certa distancia. L'equació que busquem ha de ser doblement periòdica, ja que al punt P arriben ones cada cert temps t i es repeteixen punts amb la mateixa posició de vibració, per tant ha de ser depenent de x i de t .

Partim de l'equació del MHS sense desfase inicial. ($\varphi_0 = 0$)	→	$y = A \sin(\omega t)$
Al passar un temps t' l'estat de vibració serà si es desplaça d'esquerra a dreta	→	$y = A \sin \omega(t - t')$
si considerem que $\omega = \frac{2\pi}{T}$	→	$y = A \sin \frac{2\pi}{T} (t - \frac{x}{v}) = A \sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{Tv})$
Si considerem que $\lambda = \frac{v}{f} = Tv$	→	$y = A \sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})$
i si apliquen el concepte de nombre d'ones: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$	→	$y = A \sin(\omega t - kx)$

Els punts que es troben a diferents distàncies tindran una diferencia de fase ($\omega t - kx$) que dependrà de la distancia entre ells. Els punts a, a', i b, b' es troben *en fase* ja que estan en el mateix punt de vibració



però a diferent distància al focus, en concret a un nombre parell de λ . Mentrestant d, d' i e, e' es troben en *oposició de fase* i a una distancia d'un nombre imparell de $\frac{\lambda}{2}$

Si el focus emissor tingues un cert desfase inicial respecte al temps inicial ho tindríem que tenir en compte de manera que l'equació d'ona seria:

L'energia de l'oscil·lador harmònic serà segons les lleis de la mecànica la suma de l'energia cinètica i la potencial. Per tant, si apliquem les seves formules:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mw^2A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mw^2A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0) \quad .$$

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0) + \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{1}{2}kA^2$$

Aquesta expressió ens indica que l'energia de l'oscil·lador és constant, sempre que considerem que no hi ha fregament, i que sols depèn de la molla i de l'amplitud.

1.3.- Definició d'ona. Classificació

Com ja hem dit, la propagació d'una pertorbació en el espai a través d'un medi d'Energia és lo que anomenarem con **Ona**. Podrem classificar els tipus d'ones des de diferents punts de vista:

segons ...	tipus	exemples
les dimensions	unidimensionals	corda
	bidimensionals	líquid
	tridimensionals	so, llum
el medi de propagació	mecàniques	so
	electromagnètiques	llum
la propagació	Longitudinals	molla, so
	Transversals	corda
el temps de pertorbació	Polsos: pertorbació petita	
	Trens : pertorbació llarga	

Hem de diferenciar entre la velocitat de vibració (vista en el punt anterior) i la velocitat de fase o de propagació a través de les partícules del medi. Les ones mecàniques es propaguen a diferents velocitats en medis rígids que en medis fluids i entre gasos i líquids també trobem diferencia...

La velocitat ve donada per la expressió: $v = \lambda f$ encara que també podem precisar mes si tenim en compte el tipus de medi aleshores l'expressió depèn del mòdul d'elasticitat del medi i de la seva densitat: $v = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$ i serà diferent

segons el tipus de medi.

Per altra banda cal parlar de **Front d'ones** com el conjunt de punts del medi als quals arriba la pertorbació en un instant de temps t. La superfície que defineix

$$-kx = ma$$

Newton: $a = -\left(\frac{k}{m}\right)x$ arribem a la condició que ha de complir un moviment per a

ser MHS, que la seva acceleració siga proporcional a x .

Podem definir diferents paràmetres que ens seran necessaris en l'estudi del moviment.

El temps que tarda l'objecte en completar una oscil·lació rep el nom de **Període** (T), l'invers del qual és la freqüència, es a dir el nombre d'oscil·lacions per unitat de temps. Aquesta es mesura en s^{-1} , o el que és el mateix en *Hertz*.

També definirem l'**Amplitud**, com al valor màxim que pot assolir el objecte des de la posició d'equilibri.

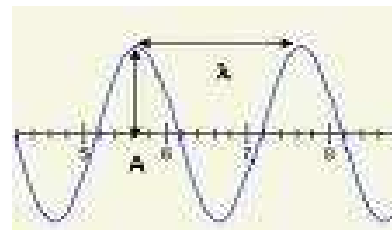
Aquest moviment al llarg del temps traçarà una corba sinusoïdal que compleix l'equació: $y(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$,

on el terme $(\omega t + \varphi_0)$ és la fase del moviment, on ω és la velocitat angular que

podem calcular a partir de les característiques de la molla $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, i que es

mesura en rad/s. φ_0 serà la fase inicial, es a dir el valor de l'angle per a $t_0=0$.

Definirem també la **Longitud d'ona** com el desplaçament entre dos punts que es troben en el mateix estat de vibració.



Si determinem el temps per a un punt en fase amb el seu anterior:

$$\omega(t + T) + \varphi = 2\pi + \omega t + \varphi$$

$$\omega T = 2\pi \longrightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{d'on veiem que la } \omega \text{ es troba relacionada amb el } T, \text{ i}$$

per la qual cosa amb la freqüència.

Per poder obtenir les velocitats de vibració i l'acceleració del moviment sols hem d'aplicar les definicions donades per la cinemàtica:

$$v = \frac{\partial x}{\partial t} = -\omega A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

, on podem veure els valors màxims de les dues

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

magnituds que podrà assolir el moviment:

$$v_{\max} = |\omega A|$$

$$a_{\max} = |\omega^2 A|$$

1.- ONES EN MEDIS ELÀSTICS

1.1.- Introducció

En un sentit molt ampli, tot el que va i torna, entra i surt, s'encén i s'apaga,..., està vibrant o oscil·lant. Una vibració és al cap i a la fi un vaivé en el temps. Si el vaivé es dona en el temps i en l'espai poden parlar d'una Ona, una ona que s'estendrà d'un lloc a altre. Això és el que ocorre en situacions tan dispars com el so, la llum, les onades de la mar, les de radio i televisió, etc. Tots els fenòmens es poden caracteritzar per l'existència d'un **Focus emissor** on es produeix el fenomen i per l'existència d'un transport d'energia, sense que es doni un transport de matèria, tant si es dona en un medi material, parlarem d'ones mecàniques, o no material, on parlarem d'ones electromagnètiques.

En aquest tema se centrarem en l'estudi de les ones mecàniques.

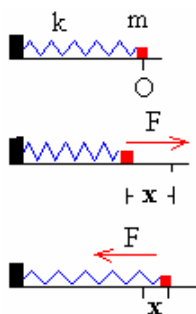
Cal que primer de tot diferenciem entre moviment oscil·latori i moviment ondulatori. El primer dona lloc a un harmònic que ve determinat per una equació del tipus: $y(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$.

Si aquest moviment harmònic, es propaga en l'espai a través d'un medi, amb la seva energia i quantitat de moviment, dona lloc a un moviment ondulatori que vindrà descrit per l'equació d'ona del tipus: $y(t) = A \sin(\omega t - Kx + \varphi_0)$.

A continuació passem a l'estudi dels moviments vibratoris per a continuar amb els ondulatoris.

1.2.- Moviment harmònic simple(MHS)

Com hem dit abans, un tipus de moviment oscil·latori és el moviment harmònic simple(MHS). Quan es desplaça un cos del seu punt d'equilibri, aquest es posa en marxa un MHS sempre que existeixi una força recuperadora que faci tornar l'objecte cap al punt d'equilibri.



El sistema típic és una molla amb un objecte en un dels extrems i que té l'altre fix. Aquesta molla complirà la llei de Hooke: $F = -kx$, on k és la constant recuperadora característica de cada molla. Si ara apliquem la segona llei de

TEMA : ONES EN MEDIS ELÀSTICS.

1.- ONES EN MEDIS ELÀSTICS	2
1.1.- INTRODUCCIÓ.....	2
1.2.- MOVIMENT HARMÒNIC SIMPLE(MHS)	2
1.3.- DEFINICIÓ D'ONA. CLASSIFICACIÓ	4
1.4.- EQUACIÓ D'ONA	5
2.- ENERGIA DEL MOVIMENT ONDULATORI	6
2.1.- ENERGIA	6
2.2.- INTENSITAT	6
3.- FENÒMENS CARACTERÍSTICS DELS MOVIMENTS ONDULATORIS	7
3.1.- PRINCIPI DE HUYGENS. DIFRACCIÓ	7
3.2.- REFLEXIÓ I REFRACCIÓ	7
3.3.- POLARITZACIÓ	8
3.4.- EFECTE DOPPLER	8
3.5.- PRINCIPI DE SUPERPOSICIÓ. INTERFERÈNCIES	9
4.- EL SO COMO UNA ONA MECÀNICA	11
4.1.- CONCEPTES GENERALS	11
4.2.- SENSACIÓ SONORA	12
4.3.- CONTAMINACIÓ ACÚSTICA.....	12
5.- MÈTODES EXPERIMENTALS PER A L'ESTUDI	13
5.1.- ONES TRANSVERSALS AMB UNA CORDA	13
5.2.- ONES AMB MOLLES	13
5.3.- ONES ESTACIONARIA EN UNA CUBETA D'ONES.....	13
5.4.- ONES DE SO	14