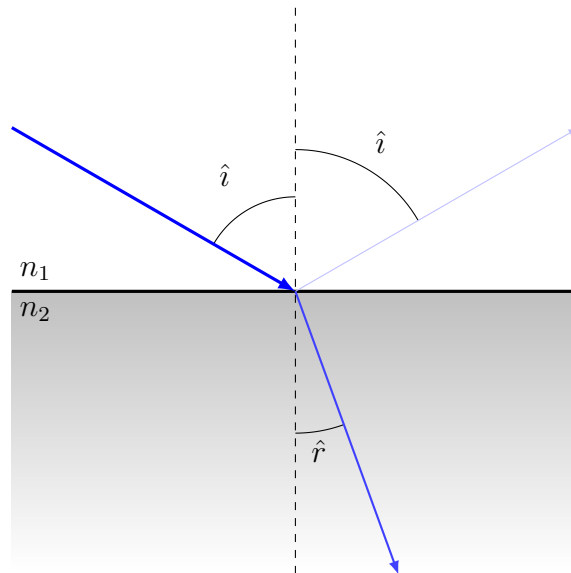


Física NS

Apunts Batxillerat



Aleix Boné
Excelsior A
2015-17

Índex

1	Cinemàtica	1
1.1	Moviment Rectilini Uniforme (MRU)	1
1.2	Moviment Rectilini Uniformement Accelerat (MRUA)	1
1.3	Tir Parabòlic	1
1.4	Moviment Circular	2
2	Dinàmica	3
2.1	Lleis de Newton	3
2.1.1	1a llei (inèrcia)	3
2.1.2	2a llei (fonamental)	3
2.1.3	3a llei (acció-reacció)	3
2.2	Força de fricció	3
2.3	La màquina d'Atwood	3
3	Treball i energia	4
3.1	Forces Conservatives	4
3.2	Conservació de l'energia	4
3.3	Potència	4
4	Xocs	5
4.1	Impuls	5
4.2	Inelàstics	5
4.3	Elàstics	5
4.4	Coeficient de restitució	5
5	Dinàmica de rotació	6
5.1	Moment	6
5.2	Energia de rotació	6
5.3	Rodament amb desplaçament	7
5.4	Moment angular(L)	7
5.4.1	Teorema de Steiner	7
6	Camp gravitatori	8
6.1	Llei de la gravitació universal de Newton	8
6.2	Intensitat del camp	8
6.3	Velocitat orbital	8
6.4	Velocitat d'escapament	8
6.5	Potencial gravitatori	8
6.6	Energies	8
6.6.1	Energia Potencial	8
6.6.2	Energia cinètica	8
6.6.3	Energia mecànica	8
6.7	Lleis de Kepler	9
6.8	Teorema de Gauss pel camp gravitatori	9

7	Camp elèctric	10
7.1	Llei de Coulomb	10
7.2	Camp elèctric d'una càrrega	10
7.3	Energia electrostàtica	10
7.4	Potencial electrostàtic (Voltatge)	10
7.4.1	Relació entre E i V	10
7.5	Llei de Gauss per a un camp elèctric	11
7.6	Densitat de càrrega	11
7.7	Camp elèctric al exterior d'una esfera	11
7.8	Camp elèctric d'una escorça	11
7.9	Camp elèctric d'una placa	11
7.10	Camp elèctric d'un cable	12
8	Camp magnètic	13
8.1	Llei de Lorentz	13
8.2	Efectes d'un camp magnètic sobre un cable	13
8.3	Llei de Biot i Savart	14
8.4	Camp magnètic d'un cable recte i infinit	14
8.5	Força magnètica entre dos cables	14
8.6	Camp magnètic d'una espira	15
8.7	Camp magnètic d'un solenoide	15
8.8	Camp magnètic d'un toroide	16
8.9	Experiment de Henry	16
8.10	Circulació	17
8.11	Teorema d'Ampère	17
8.12	Flux	17
8.13	Llei de Faraday-Lenz (Inducció electromagnètica)	17
8.14	Llei de Gauss per a un camp magnètic	18
8.15	Transformadors (Inductància mútua)	18
8.15.1	Autoinductància	18
9	Circuits elèctrics	19
9.1	Intensitat	19
9.2	Velocitat de deriva	19
9.3	Llei d'Ohm	19
9.4	Efecte Joule	19
9.5	Resistències	20
9.5.1	En sèrie	20
9.5.2	En paral·lel	20
9.6	Condensadors	21
9.6.1	Energia acumulada	21
9.6.2	Càrrega d'un condensador	21
9.6.3	Descàrrega d'un condensador	21
9.6.4	En sèrie	21
9.6.5	En paral·lel	21
9.7	Teorema de Kirchhoff	22
9.7.1	Nus	22
9.7.2	Malles	22

10 Òptica	23
10.1 Índex de refracció entre dos medis	23
10.2 Índex de refracció absolut	23
10.3 Llei de Snell	23
10.4 lleis dels miralls	23
10.5 lleis de la lent	23
11 Fluids	24
11.1 Principi de Pascal	24
11.2 Principi d'Arquímedes	24
11.3 Equació de continuïtat	25
11.4 Equació de Bernoulli	25
11.5 Nombre de Reynolds	25
12 Termodinàmica	26
12.1 1r principi	26
12.2 Isobàric	26
12.3 Isotèrmic	26
12.4 Isocòric	26
12.5 Adiabàtic	27
12.6 Eficiència	27
12.6.1 Màquina de Carnot	27
12.7 Segon principi	27
13 Moviment harmònic simple (MHS)	28
13.1 Posició, velocitat i acceleració màximes	28
13.2 Llei de Hooke	28
13.3 Període d'un pèndul simple	29
13.4 Energia	29
14 Ones	30
14.1 Equació d'ones	30
14.2 Intensitat	30
14.2.1 Llei de Malus	30
14.3 Qualitats del so	30
14.3.1 Intensitat sonora	31
14.4 Absorció d'una ona	31
14.4.1 Espessor de semi absorció	31
14.5 Interferència d'ones	31
14.5.1 Dues ones coherents	31
14.5.2 Ones estacionàries	32
14.6 Diferència de fase	32
14.7 Ona estacionària o tub obert per dos extrems	32
14.8 Tub tancat per un extrem	32
14.9 Principi de Huygens	32
14.10 Doble escletxa de Young	32
14.11 Difracció d'una escletxa	33
14.12 Resolució d'un sistema òptic	33
14.13 Efecte Doppler	33

15 Física nuclear	34
15.1 Energia d'enllaç	34
15.2 Energia d'enllaç per nucleó	34
15.3 Desintegració de Soddy-Fajans	34
15.3.1 Alfa (α)	34
15.3.2 Beta positiu (β^+)	34
15.3.3 Beta negatiu (β^-)	35
15.3.4 Gamma (γ)	35
15.4 Llei de desintegració radioactiva	35
15.5 Període de semi-desintegració	35
15.6 Vida mitja (τ)	35
15.7 Reaccions nuclears	35
15.7.1 Fissió nuclear	35
15.7.2 Fusió nuclear	35
15.8 Experiment de Rutherford	36
15.9 Densitat nuclear	36
15.10 Model estàndard de partícules	36
15.10.1 Leptons	36
15.10.2 Quarks	37
15.10.3 Hadrons	37
15.10.4 Teoria del confinament	38
15.10.5 Diagrames de Feynman	38
16 Física Quàntica	39
16.1 Hipòtesi de Planck	39
16.2 Efecte fotoelèctric	39
16.3 Llei de desplaçament de Wien	39
16.4 Lambda de de Broglie	39
16.5 Model atòmic de Bohr	40
16.6 Schrödinger	40
16.7 Principi d'incertesa de Heisenberg	40
16.8 Principi de complementaritat	40
17 Relativitat	41
17.1 Teoria especial de la relativitat	41
17.1.1 Factor de Lorentz	41
17.1.2 Dilatació del temps	41
17.1.3 Contracció de l'espai	41
17.1.4 Transformacions de Lorentz	41
17.2 Energia relativista	41
17.3 Teoria general de la relativitat	42
17.3.1 Principi d'equivalència	42
17.3.2 Redshift gravitacional	42
17.3.3 Forats negres	42
18 Unitats del SI	43
19 Constants	44

1 Cinemàtica

$$\begin{aligned} \vec{V}_m &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} & \vec{A}_m &= \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \\ \vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} & \vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \end{aligned} \quad (1)$$

1.1 Moviment Rectilini Uniforme (MRU)

$$\begin{aligned} v &= ctt \\ v &= \frac{d\vec{r}}{dt} & \rightarrow \int_{r_0}^r dr &= \int_{t_0}^t v dt \\ & & v \int_0^t dt &= r \Big|_{r_0}^r \\ r &= r_0 + vt \end{aligned} \quad (2)$$

1.2 Moviment Rectilini Uniformement Accelerat (MRUA)

$$\begin{aligned} a &= ctt \\ a &= \frac{d\vec{v}}{dt} & \rightarrow \int_{v_0}^v dv &= \int_{t_0}^t a dt \\ & & a \int_0^t dt &= v \Big|_{v_0}^v \\ v &= v_0 + at \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ v &= \frac{d\vec{r}}{dt} & \rightarrow \int_{r_0}^r dr &= \int_{t_0}^t v_0 + at dt \\ & & v_0 \int_0^t dt + \int_0^t at dt &= r \Big|_{r_0}^r \\ r - r_0 &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{aligned} \quad (4)$$

1.3 Tir Parabòlic

$$\begin{array}{ccc} \vec{r} = X(t)\hat{i} & & + Y(t)\hat{j} \\ MRU & & MRUA \\ \downarrow & & \downarrow \\ \vec{r} = (x_0 + v_0 \cos \theta t)\hat{i} & & + \left(y_0 + v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2}gt^2 \right)\hat{j} \end{array} \quad (5)$$

Inclinació en un punt P:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\left| \frac{v_{Py}}{v_{Px}} \right| \right) \quad (6)$$

1.4 Moviment Circular

R = radi	$= r$
ϕ = angle	$= \phi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
ω = velocitat angular	$= \frac{d\phi}{dt} = \omega_0 + \alpha t$
α = acceleració angular	$= \frac{d\omega}{dt}$
ω_m = velocitat angular mitja	$= \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$
α_m = acceleració angular mitja	$= \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
T = període	$= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$
ν = freqüència	
v = velocitat tangencial	$= \omega R$
\vec{a}_t = acceleració tangencial	$= \alpha R$
\vec{a}_c = acceleració centrípeta	$= \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$
\vec{a} = acceleració total	$= \vec{a}_c + \vec{a}_t$

2 Dinàmica

2.1 Lleis de Newton

2.1.1 1a llei (inèrcia)

Si $\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow$ objecte en MRU o repòs.

2.1.2 2a llei (fonamental)

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &\propto \vec{a} \\ \downarrow \\ \vec{F} &= m\vec{a}\end{aligned}\tag{7}$$

$m =$ massa

(resistència al moviment)

2.1.3 3a llei (acció-reacció)

$$\begin{aligned}\vec{F}_{a \rightarrow b} &= -\vec{F}_{b \rightarrow a} \\ |F_{a \rightarrow b}| &= |F_{b \rightarrow a}|\end{aligned}$$

2.2 Força de fricció

$$\vec{F}_r = \mu N\tag{8}$$

Hi ha dos tipus de coeficients de fricció (μ):

- $\mu_e =$ coeficient de fricció estàtic (quan el cos està en repòs)
- $\mu_d =$ coeficient de fricció dinàmic (quan el cos està en moviment)

La força de fricció sempre va en sentit oposat al moviment.

2.3 La màquina d'Atwood

Una politja de la qual pegen dues masses $m_1 > m_2$:

$$a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\tag{9}$$

3 Treball i energia

$$W = \int \vec{F} dx \quad (10)$$

$$W = \vec{F} \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \theta \quad (11)$$

$$W = \Delta E_c \quad (\text{teorema treball-energia}) \quad (12)$$

$$W = \int \tau d\theta \quad (13)$$

3.1 Forces Conservatives

\vec{F} és conservativa si:

$$\oint \vec{F} d\vec{r} = 0$$

ó

$$\int \vec{F} d\vec{r} = c t t$$

(es conservativa si el treball d'un punt a un altre és constant independentment del camí)

$$W_{NC} = \Delta E_M \quad (14)$$

$$E_M = E_P + E_C \quad (15)$$

3.2 Conservació de l'energia

Si l'una força \vec{F} és conservativa, té associada una energia potencial U :

$$U = - \int \vec{F} dx \quad (16)$$

3.3 Potència

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad [W = J/s = kg m^2/s^3] \quad (17)$$

4 Xocs

Hi ha dos tipus de xocs, els elàstics i els inelàstics:

4.1 Impuls

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t = m\vec{a}\Delta t = m\Delta\vec{v} = \Delta\vec{p} \quad (18)$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad (19)$$

4.2 Inelàstics

Son xocs irreals en el que es conserva l'energia:

$$\Delta E = 0 \quad (20)$$

$$\Delta\vec{p} = 0 \quad (21)$$

4.3 Elàstics

Son xocs en els que no es conserva l'energia degut a la pèrdua d'energia en forma de calor, soroll, deformació del material...

$$\Delta E \neq 0 \quad \rightarrow E_f = E_i - E_{\text{perduda}} \quad (22)$$

$$\Delta\vec{p} = 0 \quad (23)$$

4.4 Coeficient de restitució

Modela la pèrdua d'energia en un xoc inelàstic:

$$E_{\text{perduda}} = \frac{v_{f1} - v_{f2}}{v_{i1} - v_{i2}} \quad (24)$$

5 Dinàmica de rotació

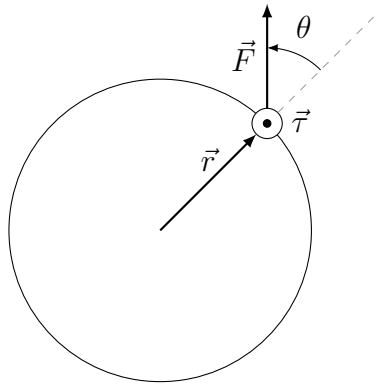
5.1 Moment

Si tenim una força \vec{F} que actua sobre un cos a una distància del centre de masses definida pel vector \vec{r} , el moment que genera aquesta força es:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (25)$$

On \times és el producte vectorial i per tant:

$$\vec{\tau} \perp \vec{r} \ \& \ \vec{F} \quad (26)$$



Utilitzarem el símbol \odot per denotar que $\vec{\tau}$ va *cap a fora* i el símbol \otimes per denotar que va *cap a dins*

$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}||\vec{F}| \sin \theta \quad (27)$$

$$= m\vec{a}\vec{r} = mr^2\alpha \quad \text{si } \theta = \pi \quad (28)$$

$$|\vec{\tau}_{\text{total}}| = \alpha \sum m_i r_i^2 = I\alpha \quad (29)$$

Moment d'inèrcia

$$I \equiv \sum m_i r_i^2 \quad (30)$$

$$I = \int r^2 dm \quad (31)$$

Per a un cilindre massís:

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (32)$$

5.2 Energia de rotació

$$E_r = \frac{1}{2}\omega^2 I \quad (33)$$

En general, l'energia cinètica es:

$$E_c = E_{cl} + E_r = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (34)$$

5.3 Rodament amb desplaçament

Si una esfera roda es compleix que:

$$v_{cm} = \omega R \quad (35)$$

Si $v_{cm} > \omega R$, l'esfera llisca.

5.4 Moment angular(L)

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (36)$$

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (37)$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau} \quad (38)$$

5.4.1 Teorema de Steiner

El moment d'inèrcia d'un eix desplaçat d unitats del centre de masses es:

$$I_d = I_{cm} + md^2 \quad (39)$$

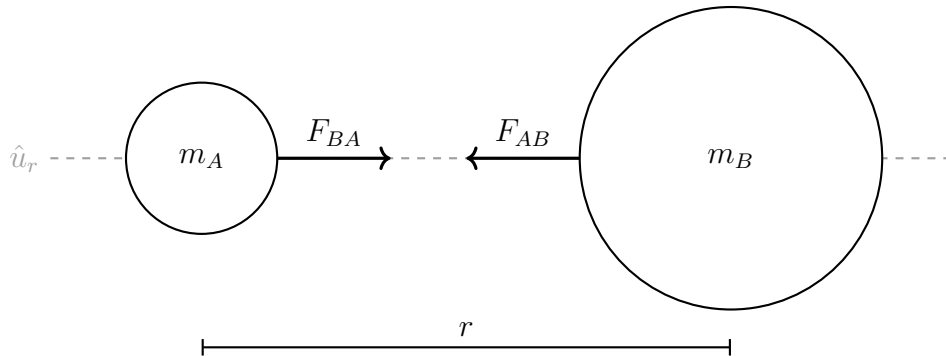
6 Camp gravitatori

6.1 Llei de la gravitació universal de Newton

$$\vec{F}_{AB} = -G \frac{m_A m_B}{r^2} \hat{u}_r \quad (40)$$

$$G = (6,674\,08 \pm 0,000\,31) \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \quad (41)$$

Figura 1: Força gravitatòria entre dos cosos



6.2 Intensitat del camp

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \hat{u}_r \quad (42)$$

6.4 Velocitat d'escapament

$$\sqrt{2G \frac{M}{r}} = \sqrt{2} v_{\text{orbital}} \quad (44)$$

6.3 Velocitat orbital

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (43)$$

6.5 Potencial gravitatori

$$V = -G \frac{M}{r} \quad (45)$$

6.6 Energies

6.6.1 Energia Potencial

$$E_p = -G \frac{Mm}{r} \quad (46)$$

6.6.3 Energia mecànica

$$E_m = E_c + E_p = -\frac{1}{2} G \frac{Mm}{r} \quad (48)$$

6.6.2 Energia cinètica

$$E_c = \frac{1}{2} G \frac{Mm}{r} \quad (47)$$

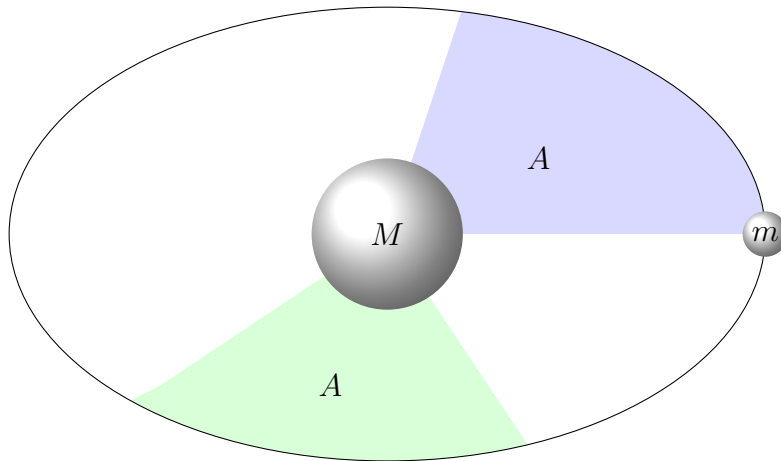
6.7 Lleis de Kepler

1. Els planetes orbiten el sol de forma el·líptica i el sol ocupa un focus.

$$\varepsilon = \frac{a}{b} = \text{excentricitat de l'òrbita} \quad (49)$$

2. El vector \vec{r} escombra àrees iguals en temps iguals, per tant, la velocitat varia durant l'òrbita del planeta.
3. El període al quadrat és directament proporcional al radi de l'òrbita al cub. Suposant que l'òrbita sigui circular:

$$T^2 = \frac{4\pi}{GM} r^3 \quad (50)$$



6.8 Teorema de Gauss pel camp gravitatori

$$\Phi = \oint \vec{g} d\vec{S} = -4\pi GM \quad (51)$$

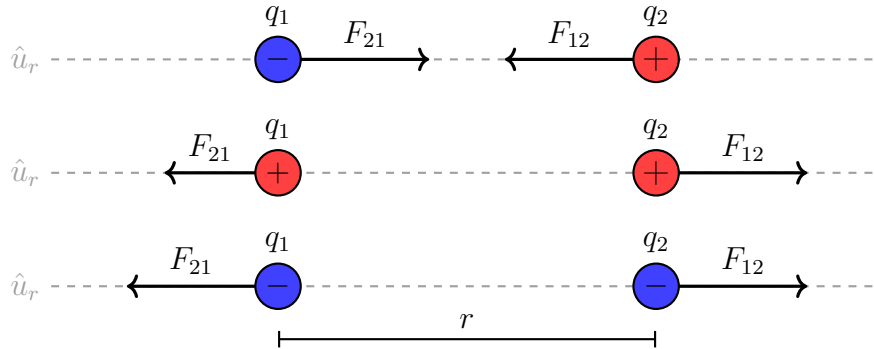
7 Camp elèctric

7.1 Llei de Coulomb

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{u}_r \quad (52)$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \quad (\text{constant de coulomb}) \quad (53)$$

Figura 2: Força elèctrica entre dues càrregues



7.2 Camp elèctric d'una càrrega

El camp elèctric \vec{E} d'una càrrega Q a una distància r de Q ve determinat per:

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{u}_r \quad (54)$$

En general, el camp elèctric a un punt P ve determinat per la suma vectorial dels camps elèctrics de totes les càrregues:

$$\vec{E}_P = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (55)$$

7.3 Energia electrostàtica

L'energia electrostàtica d'un sistema amb dues càrregues q i Q separades r és:

$$U = k \frac{qQ}{r} \quad (56)$$

En general, l'energia electrostàtica d'un sistema amb n càrregues és la suma de l'energia electrostàtica entre totes les càrregues:

$$U_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n U_{ji} \quad (57)$$

El treball és igual a menys la variació d'energia electrostàtica:

$$W = -\Delta U \quad (58)$$

7.4 Potencial electrostàtic (Voltatge)

7.4.1 Relació entre E i V

$$V = \frac{U}{q} = k \frac{Q}{r} \quad [V = \text{kg m}^2/\text{s}^3 \text{ A}] \quad (59)$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V = -\frac{dV}{dr} \hat{u}_r \quad (60)$$

7.5 Llei de Gauss per a un camp elèctric

El flux elèctric en una superfície tancada S és

$$\Phi = \oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad (61)$$

$$\varepsilon_0 = 8,854\,187\,817 \dots \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (\text{Permitivitat elèctrica del buit}) \quad (62)$$

7.6 Densitat de càrrega

La densitat de càrrega d'un objecte és la quantitat de càrrega entre el volum, la superfície o la longitud depenent de com sigui l'objecte pel que circulen les càrregues:

Volumètrica	ρ	C/m ³
Superficial	σ	C/m ²
Lineal	λ	C/m

7.7 Camp elèctric al exterior d'una esfera

El camp elèctric al exterior d'una esfera de càrrega Q és igual al d'una càrrega Q puntual:

$$\begin{aligned} \oint \vec{E} d\vec{S} &= \oint E dS = ES = E4\pi r^2 \\ E4\pi r^2 &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = k \frac{Q}{r^2} \end{aligned} \quad (63)$$

7.8 Camp elèctric d'una escorça

$$r > R \Rightarrow E = k \frac{Q}{r^2} \quad (64)$$

$$r < R \Rightarrow E = 0 \quad (65)$$

7.9 Camp elèctric d'una placa

El camp elèctric d'una placa és constant i no depèn de la distància.

$$\begin{aligned} \oint \vec{E} d\vec{S} &= \oint E dS = ES = E\pi r^2 \\ \frac{Q}{S} &= \sigma \rightarrow Q = \sigma\pi r^2 \\ E\pi r^2 &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \end{aligned} \quad (66)$$

7.10 Camp elèctric d'un cable

$$\begin{aligned}\oint \vec{E} d\vec{S} &= \oint E dS = ES = E2\pi rL \\ \frac{Q}{L} &= \lambda \rightarrow Q = \lambda L \\ E2\pi rL &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi r\varepsilon_0}\end{aligned}\tag{67}$$

8 Camp magnètic

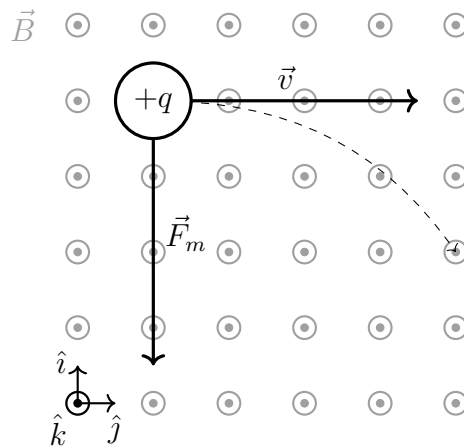
$$\vec{B} \quad [\text{T} = \text{kg}/\text{A s}^2] \quad (68)$$

8.1 Llei de Lorentz

La força electromagnètica induïda sobre una càrrega q que travessa un camp magnètic \vec{B} a una velocitat \vec{v} ve determinada per:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (69)$$

Figura 3: Força magnètica induïda sobre una càrrega en moviment



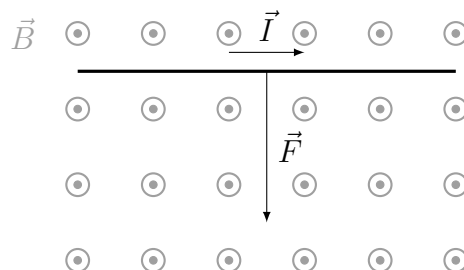
La força de Lorentz és sempre perpendicular a \vec{v} i a \vec{B} , la magnitud de la força és

$$qvB \sin \widehat{vB} \quad (70)$$

8.2 Efectes d'un camp magnètic sobre un cable

Un camp magnètic \vec{B} genera una força sobre un cable on hi circula una intensitat I :

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B} \quad (71)$$

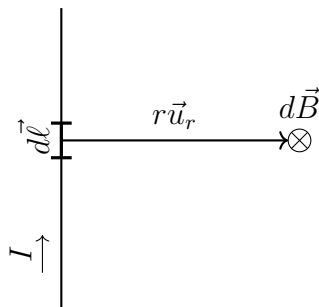


8.3 Llei de Biot i Savart

El camp magnètic creat per una càrrega q que es mou a una velocitat v és:

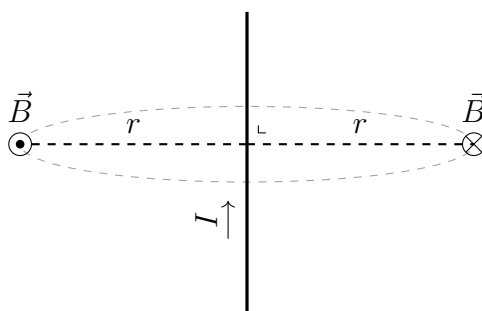
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2} \quad (72)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2 \quad (\text{Permeabilitat elèctrica del buit}) \quad (73)$$



8.4 Camp magnètic d'un cable recte i infinit

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (74)$$



8.5 Força magnètica entre dos cables

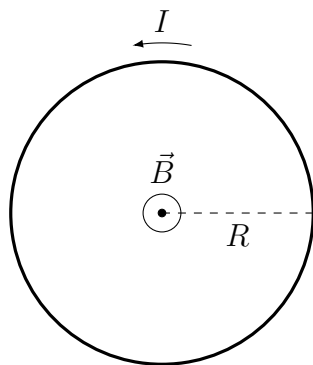
Dos cables pels quals circula unes corrents I_1 i I_2 generen una força un sobre l'altre degut als camp magnètic que formen.

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \quad (75)$$

8.6 Camp magnètic d'una espira

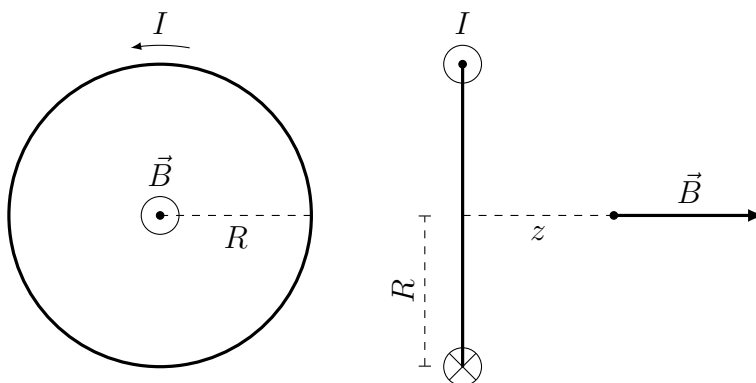
El camp magnètic al centre d'una espira de radi r on circula una intensitat I és:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (76)$$



El camp magnètic a una distància z del centre de l'espira a través del eix és:

$$B = \frac{\mu_0 R^2 I}{2(z^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (77)$$

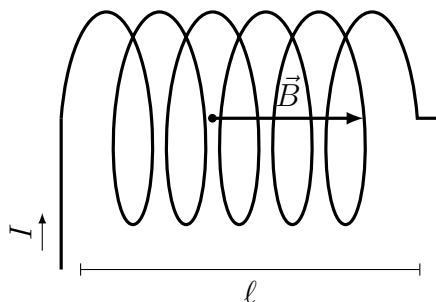


8.7 Camp magnètic d'un solenoide

$$B = \mu_0 n I \quad (78)$$

$$n = \frac{N}{\ell} \quad (79)$$

On N és el nombre d'espises i ℓ és la longitud del solenoide.

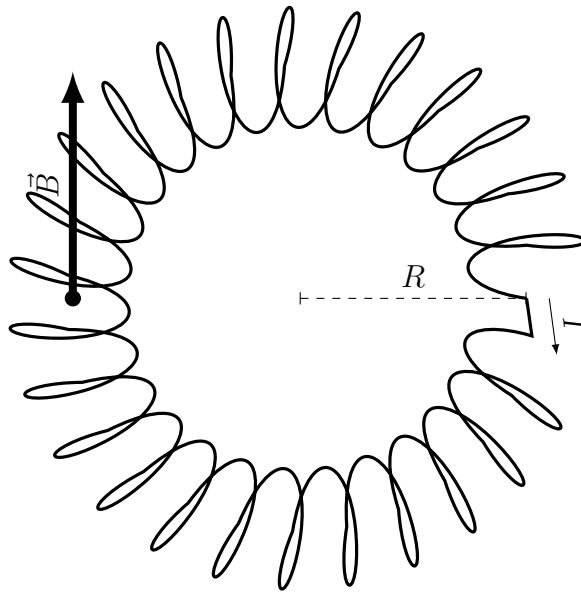


8.8 Camp magnètic d'un toroide

El camp magnètic al **interior** d'un toroide de radi R on circula una intensitat I i amb N espires es:

$$B = \mu_0 n I \quad (80)$$

$$n = \frac{N}{2\pi R} \quad \rightarrow \quad B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi} \quad (81)$$



8.9 Experiment de Henry

$$\varepsilon = vBL \quad (82)$$

8.10 Circulació

La circulació C d'un vector A al llarg d'un vector $\vec{\ell}$ és:

$$C = \int \vec{A} d\vec{\ell} \quad (83)$$

8.11 Teorema d'Ampère

En un camí tancat:

$$C = \oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 I \quad (84)$$

8.12 Flux

El flux magnètic Φ d'un cos amb un vector superfície S on hi actua un camp magnètic B és:

$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{S} \quad [\text{Wb} = \text{J/A} = \text{V s} = \text{kg m}^2/\text{s}^2 \text{ A}] \quad (85)$$

Si \vec{B} i \vec{S} són constants i no varia l'angle θ entre els dos en cap punt de la superfície, podem simplificar l'expressió a:

$$\Phi = BS \cos \theta \quad (86)$$

8.13 Llei de Faraday-Lenz (Inducció electromagnètica)

La força electromotriu induïda ε és igual a la variació de flux Φ respecte el temps per el nombre d'espores.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}] \quad (87)$$

En un interval de temps discret:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (88)$$

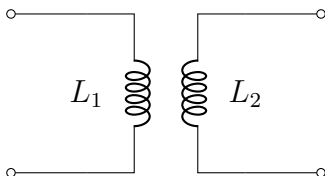
8.14 Llei de Gauss per a un camp magnètic

El flux magnètic en una superfície tancada S és

$$\Phi = \oint \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (89)$$

8.15 Transformadors (Inductància mútua)

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (90)$$



8.15.1 Autoinductància

$$N\Phi = LI \quad (91)$$

$$L = \text{Coeficient d'inductància} \quad [\text{H}] \quad (92)$$

9 Circuits elèctrics

9.1 Intensitat

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad [\text{A}] \quad (93)$$

9.2 Velocitat de deriva

La velocitat v a la que es mou una partícula de càrrega Q a través d'un conductor d'àrea A ¹ on hi ha n partícules per metre cúbic es relaciona amb la intensitat:

$$I = nAvQ \quad (94)$$

9.3 Llei d'Ohm

$$V = IR \quad (95)$$

9.4 Efecte Joule

L'energia dissipada per l'efecte Joule (Q) ve determinada per:

$$P = RI^2 = VI \quad [\text{W} = \text{J/s} = \text{kg m}^2/\text{s}^3] \quad (96)$$

$$Q = Pt \quad [\text{J} = \text{N m} = \text{kg m}^2/\text{s}^2] \quad (97)$$

¹secció perpendicular al flux de càrregues

9.5 Resistències

La resistència d'un material de longitud ℓ àrea A i resistivitat elèctrica ρ ² $[\Omega \text{ m}]$ és:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad [\Omega = \text{kg m}^2 / \text{s}^3 \text{ A}^2] \quad (98)$$

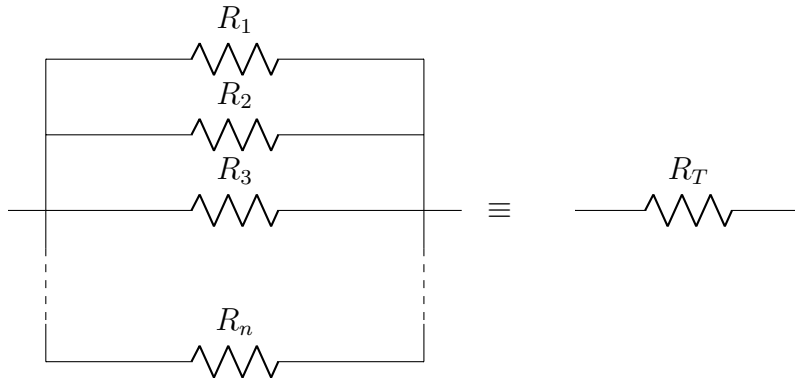
9.5.1 En sèrie



$$R_T = \sum_{i=1}^n R_i \quad (99)$$

$$I_T = I_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (100)$$

9.5.2 En paral·lel



$$\frac{1}{R_T} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (101)$$

$$I_T = \sum_{i=1}^n I_i \quad (102)$$

²*rho*

9.6 Condensadors

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \varepsilon \frac{A}{d} \quad [\text{C/V} = \text{F}] \quad (103)$$

9.6.1 Energia acumulada

$$U = \frac{1}{2} QV \quad (104)$$

9.6.2 Càrrega d'un condensador

$$\tau = RC \quad (105)$$

$$I = \frac{V_0}{R} e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (106)$$

$$V = V_0 \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) \quad (107)$$

$$Q = CV_0 \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) \quad (108)$$

9.6.3 Descàrrega d'un condensador

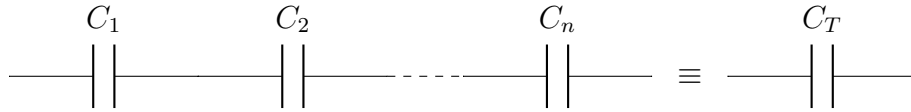
$$I = \frac{V_{Ci}}{R} e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (109)$$

$$V = V_{Ci} e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (110)$$

$$Q = CV_{Ci} e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (111)$$

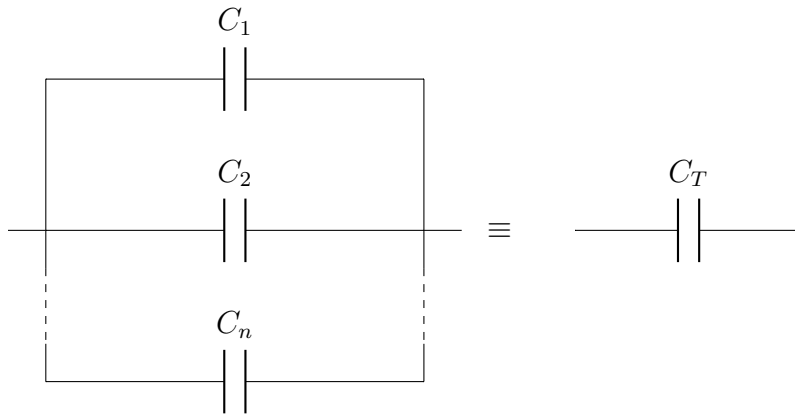
9.6.4 En sèrie

$$\frac{1}{C_T} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (112)$$



9.6.5 En paral·lel

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i \quad (113)$$



9.7 Teorema de Kirchoff

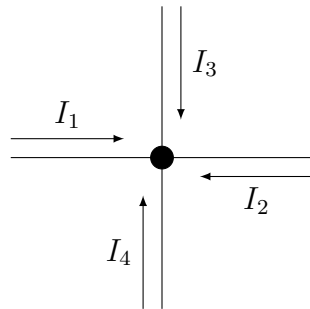
9.7.1 Nus

En un nus com el que es mostra a la figura 4, es compleix que³:

$$\sum I = 0 \quad (114)$$

$$\sum I_{\text{entrants}} = \sum I_{\text{sortints}} \quad (115)$$

Figura 4: Nus

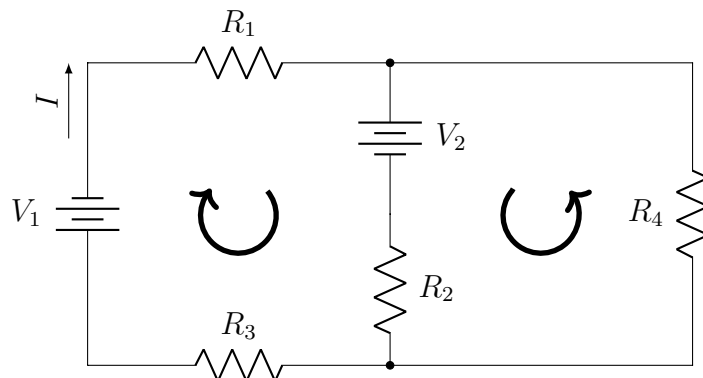


9.7.2 Malles

En una malla com la que es mostra a la figura 5, es compleix que:

$$\sum V_i = \sum I_i R_i \quad (116)$$

Figura 5: Malla



³S'ha de tenir en compte el sentit tant de les intensitats com del voltatge

10 Òptica

10.1 Índex de refracció entre dos medis

L'índex de refracció entre dos medis és igual a la velocitat de la llum en el primer medi entre la velocitat de la llum en el segon medi:

$${}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2} \quad (117)$$

10.2 Índex de refracció absolut

L'índex de refracció absolut n d'un medi és la relació entre la velocitat de la llum en el buit c i la velocitat de la llum en el medi v :

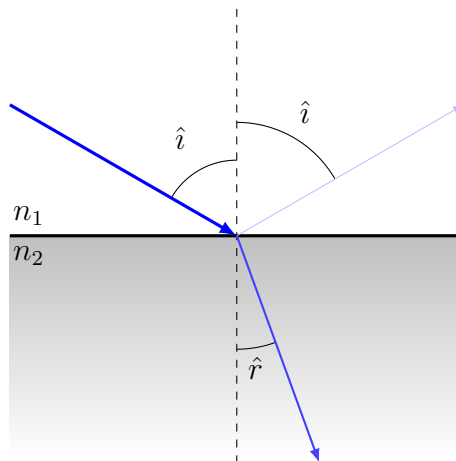
$$n = \frac{c}{v} \quad (118)$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^9 \text{ m/s} \quad (119)$$

10.3 Llei de Snell

L'angle d'incidència \hat{i} per l'índex de refracció absolut del primer medi és igual a l'angle de refracció \hat{r} per l'índex absolut del segon medi.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \hat{r}}{\sin \hat{i}} = \frac{v_2}{v_1} \quad (120)$$



10.4 lleis dels miralls

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r} \quad (121)$$

10.5 lleis de la lent

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (122)$$

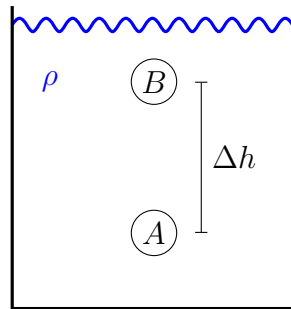
11 Fluids

11.1 Principi de Pascal

La pressió exercida per un fluid incompressible en equilibri dins d'un recipient de parets rígides es transmet d'igual manera en totes direccions i en tots els seus punts.

La diferència de pressió ΔP entre dos punts submergits a diferent profunditat h és igual a la diferència d' h per la densitat del fluid ρ per l'acceleració de la gravetat g :

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad [\text{Pa} = \text{N/m}^2 = \text{kg/m s}^2] \quad (123)$$

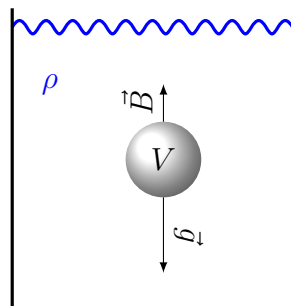


11.2 Principi d'Arquímedes

Un cos insoluble totalment o parcialment submergit en un fluid (líquid o gas) en repòs rep una força de baix cap a dalt igual al pes del volum del fluid que desallotja.

La força de flotació \vec{B} d'un cos submergit un volum V en un fluid de densitat ρ i sobre el qual hi actua la força de la gravetat \vec{g} és:

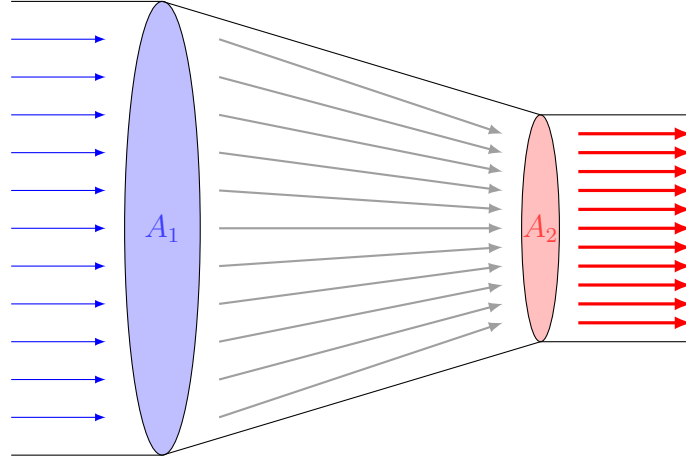
$$\vec{B} = -\rho V \vec{g} \quad (124)$$



11.3 Equació de continuïtat

En un mateix fluid, es compleix que la velocitat del fluid en un punt per l'àrea de la secció perpendicular és igual a la velocitat en un altre punt per l'àrea en aquell punt.

$$A_i v_i = \text{ctt} \quad (125)$$



11.4 Equació de Bernoulli

$$P_T = P_s + P_d \quad (126)$$

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (127)$$

$$P_s = \rho g h \quad (128)$$

11.5 Nombre de Reynolds

El nombre de Reynolds Re caracteritza el moviment del fluid. En un tub, si $Re > 4000$ el règim és turbulent, si $Re < 2300$ el règim és laminar.

El nombre de Reynolds Re per a un líquid de densitat ρ i viscositat cinètica μ que circula a una velocitat v per un tub de diàmetre D_H és:

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} \quad (129)$$

12 Termodinàmica

$$PV = nRT \quad (130)$$

$$U = \frac{3}{2}nRT \quad \rightarrow \quad U \propto T \quad (131)$$

$$Q = c_e m \Delta T \quad (132)$$

$$Q = mL \quad (133)$$

$$E_k = \frac{3}{2} \frac{R}{N_a} T = \frac{3}{2} k_B T \quad (134)$$

12.1 1r principi

La calor Q [J] despesa durant la variació de les condicions d'un gas és la suma del treball W i la variació d'energia interna del gas durant el procés:

$$Q = W + \Delta U \quad (135)$$

$$W = \int P dV \quad (136)$$

12.2 Isobàric

El procés es produeix a **pressió** constant.

$$Q = P \Delta V + \Delta U \quad (137)$$

12.3 Isotèrmic

El procés es produeix a **temperatura** constant.

$$\Delta U = 0 \quad (138)$$

$$Q = W = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (139)$$

12.4 Isocòric

El procés es produeix a **volum** constant.

$$W = 0 \quad (140)$$

$$Q = \Delta U \quad (141)$$

12.5 Adiabàtic

O isentròpic, el procés es produeix sense intercanvi de calor ($Q = 0$).

$$\begin{aligned} Q &= 0 \\ W &= -\Delta U \end{aligned} \tag{142}$$

$$PV^\gamma = \text{cte} \tag{143}$$

$$\frac{T}{V^{\gamma+1}} = \text{cte} \tag{144}$$

$$\gamma = \frac{2}{3}$$

12.6 Eficiència

$$\eta = \frac{W}{Q} \tag{145}$$

12.6.1 Màquina de Carnot

Consta de tres fases:

1. Expansió isotèrmica
2. Expansió adiabàtica
3. Compensió isotèrmica
4. Compensió adiabàtica

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \tag{146}$$

12.7 Segon principi

L'entropia S d'un sistema és igual a la variació de calor ΔQ entre la temperatura. L'entropia de l'univers sempre augmenta.

$$S = \frac{\Delta Q}{T} \tag{147}$$

$$S = k_B \ln \Omega \tag{148}$$

$$S_{\text{univers}} > 0 \tag{149}$$

Ω és el nombre de microestats possibles del sistema.

$$k_B = (1,380\,648\,52 \pm 0,000\,000\,79) \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (\text{Constant de Boltzmann}) \tag{150}$$

13 Moviment harmònic simple (MHS)

Un cos segueix un moviment harmònic simple si es compleix que:

1. La magnitud de la força (i com a conseqüent de l'acceleració) és proporcional al desplaçament respecte a un punt fix.
2. La direcció de la força (i per tant de l'acceleració) és sempre en la direcció del punt fix.

Per tant:

$$a \propto -\Delta x \quad (151)$$

$$a = -k\Delta x \quad (152)$$

Les equacions de moviment per a un objecte que es mou seguint un moviment harmònic simple d'amplitud A , freqüència angular ω i fase ϕ amb un punt fix x_0 són:

$$ma = -k\Delta x \longrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$x(t) = x_0 + A \sin(\phi_0 + \omega t) \quad (153)$$

$$v(t) = A\omega \cos(\phi_0 + \omega t) \quad (154)$$

$$a(t) = -A\omega^2 \sin(\phi_0 + \omega t) \quad (155)$$

$$\omega \equiv \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (156)$$

El període T , el període angular ω i la freqüència ν segueixen la relació:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (157)$$

13.1 Posició, velocitat i acceleració màximes

$$x_{\max} = x_0 + A \quad (158)$$

$$v_{\max} = A\omega \quad (159)$$

$$a_{\max} = A\omega^2 \quad (160)$$

13.2 Llei de Hooke

La força exercida per una molla amb una constant elàstica k segueix un moviment harmònic simple.

$$F = -k\Delta x \quad (161)$$

13.3 Període d'un pèndul simple

El període T d'un pèndul simple de longitud ℓ que oscil·la en graus petits ⁴ és:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (162)$$

13.4 Energia

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad (163)$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2 \cos^2(\omega t + \phi) \quad (164)$$

$$E_m = E_p + E_c = \frac{1}{2}kA^2 \quad (165)$$

⁴Inferiors a 15°

14 Ones

Transport d'energia sense desplaçar al matèria. Es transmet una vibració en un moviment harmònic simple.

Les podem classificar de dues maneres:

1. Segons el medi en que es propaguen
 - (a) Mecàniques: es desplacen per un medi material
 - (b) Electromagnètiques: poden viatjar pel buit
2. Segons el tipus de Moviment Harmònic Simple que descriuen
 - (a) Longitudinals: desplaçament paral·lel a la vibració
 - (b) Transversals: desplaçament perpendicular a la vibració

14.1 Equació d'ones

$$y = A \sin(\omega t - kx + \phi) \quad (166)$$

$$\omega \equiv \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad (167)$$

$$k \equiv \frac{2\pi}{\lambda} \quad (168)$$

On k és el nombre d'ona i ω la freqüència angular.

14.2 Intensitat

$$I \propto A^2 \quad (169)$$

$$I \propto \Delta x^2 \quad (170)$$

14.2.1 Llei de Malus

Intensitat transmesa per la llum incident en un polaritzador:

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (171)$$

14.3 Qualitats del so

El so és una ona mecànica longitudinal. Té tres qualitats:

1. to
2. timbre
3. intensitat

14.3.1 Intensitat sonora

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (172)$$

$$I_0 \approx 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad (173)$$

I_0 és la intensitat llinar a partir de la qual un so ja no és audible per l'orella humana.

14.4 Absorció d'una ona

$$I = I_0 e^{-\beta x} \quad (174)$$

On β és el coeficient d'absorció del material travessat.

14.4.1 Espessor de semi absorció

Distància tal que $I = \frac{I_0}{2}$:

$$D_{1/2} = \frac{\ln 2}{\beta} \quad (175)$$

14.5 Interferència d'ones

Si tenim dos focus d'ona o més, aquests creen una interferència. Podem determinar l'equació d'ona d'un punt p a través de la suma de totes les ones:

$$y_p = \sum_i^n y_{pi} \quad (176)$$

14.5.1 Dues ones coherents

Si tenim dues ones que són coherents ⁵:

$$y = A_p \sin(\omega t - kr') \quad (177)$$

$$r' = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (178)$$

$$A_p = 2A \cos\left(k \frac{r_2 - r_1}{2}\right) \quad (179)$$

A partir de la equació, podem obtenir les condicions per tal que la interferència sigui constructiva o destructiva:

- Destructiva: $r_2 - r_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$
- Constructiva: $r_2 - r_1 = n\lambda$

⁵Mateixes λ, A, ν i ϕ

14.5.2 Ones estacionàries

$$y = A_p \sin \left(\omega t - k \frac{r_2 + r_1}{2} \right) \quad (180)$$

$$r' = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (181)$$

$$A_p = 2A \cos(kr') \quad (182)$$

- Destructiva: $r' = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$
- Constructiva (Ventres): $r' = n \frac{\lambda}{2}$

14.6 Diferència de fase

$$\phi = k\Delta x \quad (183)$$

14.7 Ona estacionària o tub obert per dos extrems

$$L = \frac{\lambda}{2} n \quad (184)$$

On n és el nombre harmònic que comença amb 1.

14.8 Tub tancat per un extrem

$$L = \frac{\lambda}{4} (2n + 1) \quad (185)$$

On el primer harmònic és $n = 0$

14.9 Principi de Huygens

Quan un front d'ona està en el medi cada partícula del medi es transforma en un punt d'emissió d'ones i el conjunt forma el nou front d'ona. Això explica el fenomen de la difracció.

14.10 Doble escletxa de Young

Espai entre franges s :

$$s = \frac{\lambda D}{d} \quad (186)$$

Interferència constructiva

$$n\lambda \quad (187)$$

Interferència destructiva

$$\left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda \quad (188)$$

14.11 Difracció d'una escletxa

$$\theta = \frac{\lambda}{b} \quad (189)$$

14.12 Resolució d'un sistema òptic

Criteri de Rayleigh:

$$\theta > 1.22 \frac{\lambda}{a} \quad (190)$$

14.13 Efecte Doppler

$$\nu = \nu_0 \frac{c \pm v_r}{c \mp v_f} \quad (191)$$

15 Física nuclear

$$\text{Diàmetre atòmic} = 1 \text{ Å} = 10 \times 10^{-10} \text{ m} \quad (192)$$

$$\text{Diàmetre del nucli atòmic} = 1 \times 10^{-4} \text{ Å} = 1 \times 10^{-14} \text{ m} \quad (193)$$

$$A = \text{Nombre màssic} = n^o p^+ + n^o n \quad (194)$$

$$Z = \text{Nombre atòmic} = n^o p^+ \quad (195)$$

Expressem una partícula X com:

$${}^A_Z X \quad (196)$$

Dos àtoms són el mateix element si tenen igual Z . Dos isòtops del mateix element tenen igual Z però diferent A

15.1 Energia d'enllaç

$$1 \text{ u} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2} \quad (197)$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (198)$$

$$m_p = 1,0073 \text{ u} \quad (199)$$

$$m_n = 1,0087 \text{ u} \quad (200)$$

$$\Delta m = [Z m_p + (A - Z) m_n] - M_{\text{nucli}} \quad (201)$$

$$E_b = \Delta m c^2 \quad (202)$$

15.2 Energia d'enllaç per nucleó

$$\text{Energia d'enllaç per nucleó} = \frac{E_b}{A} \quad (203)$$

15.3 Desintegració de Soddy-Fajans

γ és energia alliberada.

15.3.1 Alfa (α)

$${}^A_Z X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2\text{He} + \gamma \quad (204)$$

15.3.2 Beta positiu (β^+)

$${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1}\text{e} + \bar{\nu}_e + \gamma \quad (205)$$

15.3.3 Beta negatiu (β^-)



15.3.4 Gamma (γ)



15.4 Llei de desintegració radioactiva

N = nombre de nucleons.

λ és la constant de desintegració radioactiva que depen de l'àtom.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (208)$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{dt} = \int_0^t -\lambda dt \rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (209)$$

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (210)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (211)$$

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (212)$$

15.5 Període de semi-desintegració

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (213)$$

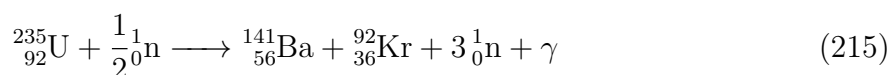
15.6 Vida mitja (τ)

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (214)$$

15.7 Reaccions nuclears

15.7.1 Fissió nuclear

Trencament d'un nucli atòmic. Allibera energia. Un dels més coneguts es la fissió de l'Urani 235 que s'utilitza en les centrals nuclears:



15.7.2 Fusió nuclear

Unió de dos nuclis. Succeeix a les estrelles.



15.8 Experiment de Rutherford

Experiment de la làmina d'or, en el que es bombardeja una làmina d'or amb partícules α i 1 de cada 1800 es desviaven i una de cada 10000 rebotaven a la làmina. Permet calcular el radi d'un àtom sabent que aquestes partícules reboten i l'energia cinètica amb les que s'han llançat (E_c):

$$\begin{aligned} E_c &= E_p \\ E_p &= k \frac{(2e^-)(Ze^-)}{d} \rightarrow d = \frac{e^2 2Z}{E_c} \end{aligned} \quad (217)$$

15.9 Densitat nuclear

$$V_{\text{nucli}} \propto A \quad (218)$$

$$V_{\text{nucli}} \propto \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (219)$$

$$R \propto A^{\frac{1}{3}} \quad (220)$$

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}} \quad (221)$$

$$R_o = \text{Radi de Fermi} = 1,20 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (222)$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{Au}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3u}{4\pi R_o^3} \approx 2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3 \quad (223)$$

La densitat d'un nucli atòmic és comparable a la d'un forat negre.

15.10 Model estàndard de partícules

Hi ha 3 grups de partícules fonamentals:

- Leptons
- Quarks
- Bosons

15.10.1 Leptons

- electró (e)
- muó (μ)
- tauó (τ)
- neutrí electrònic (ν_e)
- neutrí mònic (μ^+)
- neutrí tauònic (τ^0)

Taula 1: Propietats dels leptons

càrrega (Q)			nombre leptònic (L)
e	τ	μ	-1
\bar{e}	$\bar{\tau}$	$\bar{\mu}$	$+1$
ν_e	ν_τ	ν_μ	0
$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\tau$	$\bar{\nu}_\mu$	0

15.10.2 Quarks

No poden estar sols, sempre formen grups. Anomenem als grups de Quarks Hadrons.

- up (u)
- charm (c)
- top (t)
- down (d)
- strange (s)
- bottom (b)

Taula 2: Quarks

càrrega (Q)		
u	c	t
d	s	b
\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}

El quark strange (s) té el nombre d'Extranyessa S que és -1 per el quark s i $+1$ per l'antiquark \bar{s} .

15.10.3 Hadrons

Hi ha dos tipus:

- Mesons (2 quarks)
- Barions (3 quarks)

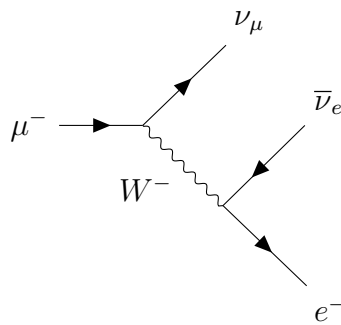
Els quarks que formen un barió tenen nombre bariònic: $1/3$ pels quarks i $-1/3$ pels antiquarks.

15.10.4 Teoria del confinament

- Els quarks s'intercanvien gluons (força forta)
- Els hadrons són sensibles tant a la força forta com a la dèbil
- Els leptons no són sensibles a la força forta però sí a la dèbil
- El nombre bariònic, el leptònic, l'estrang i la càrrega sempre es conserven

15.10.5 Diagrames de Feynman

Representació visual de d'interacció entre partícules. Eixos temps i espai. Les partícules són fletxes. Les antipartícules en direcció oposada. Les interaccions es representen amb línies discontinues si són partícules o amb una ona si és una radiació.



16 Física Quàntica

16.1 Hipòtesi de Planck

Emissió no es continua sinó discreta ja que l'energia està quantitzada en *quantums*.

$$E = nh\nu \quad (224)$$

16.2 Efecte fotoelèctric

L'efecte fotoelèctric és la capacitat de la llum per a alliberar electrons d'una superfície metàl·lica. Aquests electrons deixen el metall a una velocitat que no depen de la intensitat de la llum, sinó de la longitud d'ona.

$$E_i = E_0 + E_c \quad (225)$$

$$h\nu = h\nu_0 + |q_0|v \quad (226)$$

Quan $E_c = 0$ obtenim el treball d'extracció:

$$W_{\text{ext}} = h\nu_0 \quad (227)$$

16.3 Llei de desplaçament de Wien

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} \quad (228)$$

On T és la temperatura en kelvins i b és la constant de Wien.

$$b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ K m} \quad (229)$$

16.4 Lambda de de Broglie

Totes les partícules es comporten com a ones segons la equació:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (230)$$

16.5 Model atòmic de Bohr

Es basa en 3 postulats:

- Els electrons orbiten en òrbites estacionàries
- La variació d'energia entre òrbites està quantitzada en quants
- La longitud de l'òrbita ha de ser proporcional a la constant de Plank normalitzada

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (231)$$

$$\Delta E = h\nu \quad (232)$$

$$L = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar \quad (233)$$

16.6 Schrödinger

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V\Psi = |E|\Psi \quad (234)$$

On Ψ és la funció d'ona que serveix per a determinar la probabilitat de trobar una partícula.

16.7 Principi d'incertesa de Heisenberg

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (235)$$

$$\sigma_E \sigma_t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (236)$$

16.8 Principi de complementaritat

Tota partícula és una ona i una partícula i conviuen els dos estats. L'estat defineix amb l'observació.

17 Relativitat

L'experiment de Michael-Morley demostra que l'èter no existeix. S'ha de trobar una explicació per el fet que la llum es desplaça per l'espai tot i no haver-hi matèria.

17.1 Teoria especial de la relativitat

Basada en dos postulats:

1. Totes les lleis de la física són vàlides a qualsevol sistema de referència inercial.
2. La velocitat de la llum és constant per a tot sistema de referència inercial.

17.1.1 Factor de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (237)$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad (238)$$

17.1.2 Dilatació del temps

$$\Delta t' = \gamma \Delta t \quad (239)$$

17.1.3 Contracció de l'espai

$$\Delta x' = \frac{\Delta x}{\gamma} \quad (240)$$

17.1.4 Transformacions de Lorentz

$$\Delta t' = \gamma \left(\Delta t + \frac{v \Delta x}{c^2} \right) \quad (241)$$

$$\Delta x' = \gamma (\Delta x + v \Delta t) \quad (242)$$

$$v'_x = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} v_x} \quad (243)$$

17.2 Energia relativista

$$W = E_c = \int F dx = \int m_0 \gamma \frac{dv}{dt} dx \quad (244)$$

$$= m_0 c^2 (\gamma - 1) \quad (245)$$

17.3 Teoria general de la relativitat

Els efectes gravitatoris afecten a les ones de la llum tot i no tenir massa. Per tant es dedueix que el camp gravitats és una deformació de l'espai-temps.

17.3.1 Principi d'equivalència

Un sistema de referència no inercial accelerat és equivalent a una sistema en repòs sotmès a una força gravitacional.

17.3.2 Redshift gravitacional

$$\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = \frac{g\Delta h}{c^2} \quad (246)$$

17.3.3 Forats negres

Schwarzschild postula l'existència dels forats negres:

$$r_s = 2\frac{GM}{c^2} \quad (247)$$

r_s és el radi d'Schwarzschild a partir del qual la llum no pot escapar.

18 Unitats del SI

Taula 3: Les 7 Unitats bàsiques del SI

Símbol	Nom	Magnitud
m	metre	Longitud
kg	kilogram	Massa
s	segon	Temps
A	ampere	Intensitat elèctrica
K	Kelvin	Temperatura
mol	Mols	Quantitat de substància
cd	Candela	Intensitat Llumínosa

Taula 4: Prefixos del SI

Símbol	Nom	Factor	Símbol	Nom	Factor
da	deca	10^1	d	deci	10^{-1}
h	hecto	10^2	c	centi	10^{-2}
k	quilo	10^3	m	mil·li	10^{-3}
M	mega	10^6	μ	micro	10^{-6}
G	giga	10^9	n	nano	10^{-9}
T	tera	10^{12}	p	pico	10^{-12}
P	peta	10^{15}	f	femto	10^{-15}
E	exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}
Z	zetta	10^{21}	z	zepto	10^{-21}
Y	yotta	10^{24}	y	yocto	10^{-24}

Taula 5: Unitats derivades

Símbol	Nom	En funció d'altres	En unitats bàsiques
Hz	hertz		$1/s$
N	newton		$kg\ m/s^2$
Pa	pascal	N/m^2	$kg/m\ s^2$
J	joule	$N\ m$	$kg\ m^2/s^2$
W	watt	J/s	$kg\ m^2/s^3$
C	coulomb		$A\ s$
V	volt	$A\ \Omega = J/C$	$kg\ m^2/s^3\ A$
F	faraday	C/V	$s^4\ A^2/kg\ m^2$
Ω	ohm	$V/A = 1/S$	$kg\ m^2/s^3\ A^2$
S	siemens	$A/V = 1/\Omega$	$s^3\ A^2/kg\ m^2$
Wb	weber	$J/A = V\ s$	$kg\ m^2/s^2\ A$
T	tesla	Wb/m^2	$kg/A\ s^2$
H	henry	Wb/A	$kg\ m^2/s^2\ A^2$

19 Constants

$G = (6,674\,08 \pm 0,000\,31) \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$	(Constant de la gravitació Universal)
$g \approx 9,806\,65 \text{ m/s}^2$	(Acceleració de la gravetat ⁶)
$k_B = (1,380\,648\,52 \pm 0,000\,000\,79) \times 10^{-23} \text{ J/K}$	(Constant de Boltzmann)
$k = 8,987\,551\,787\,368\,176\,4 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$ $\approx 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$	(Constant de coulomb)
$R = (8,314\,459\,8 \pm 0,000\,004\,8) \text{ J mol/K}$ $= (8,205\,733\,8 \pm 0,000\,004\,7) \times 10^{-2} \text{ l atm mol/K}$	(Constant ideal dels gasos)
$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^9 \text{ m/s}$	(Velocitat de la llum)
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$	(Permeabilitat del buit)
$\varepsilon_0 = 8,854\,187\,817 \dots \times 10^{-12} \text{ F/m}$	(Permitivitat del buit)
$h = (6,626\,070\,040 \pm 0,000\,000\,081) \times 10^{-34} \text{ J s}$	(Constant de Planck)
$u = (1,660\,539\,040 \pm 0,000\,000\,020) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= (931,494\,095\,4 \pm 0,000\,005\,7) \text{ MeV}/c^2$	(Unitat de massa atòmica)
$N_A = (6,022\,140\,857 \pm 0,000\,000\,074) \times 10^{23} \text{ 1/mol}$	(Nombre d'Avogadro)
$\sigma = (5,670\,367 \pm 0,000\,013) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$	(Constant de Stefan-Boltzmann)
$I_0 \approx 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$	(Intensitat llindar)
$b = (2,897\,772\,9 \pm 0,000\,001\,7) \times 10^{-3} \text{ K m}$	(Constant de Wien)
$S \approx 1,361 \text{ kW/m}^2$	(Constant solar)
$R_0 \approx 1,20 \times 10^{-15} \text{ m}$	(Radi de Fermi)
$M_{\text{Terra}} = (5,9722 \pm 0,0006) \times 10^{24} \text{ kg}$	
$R_{\text{Terra}} \approx 6378 \text{ km}$	
$g_{\text{Lluna}} = 1,625 \text{ m/s}^2$	
$q_{p^+} = (1,602\,176\,565 \pm 0,000\,000\,035) \times 10^{-19} \text{ C}$	
$m_{p^+} = (1,672\,621\,637 \pm 0,000\,000\,083) \times 10^{-27} \text{ kg}$	
$m_n = (1,674\,927\,471 \pm 0,000\,000\,021) \times 10^{-27} \text{ kg}$	
$q_{e^-} = (-1,602\,176\,565 \pm 0,000\,000\,035) \times 10^{-19} \text{ C}$	
$m_{e^-} = (9,109\,383\,56 \pm 0,000\,000\,11) \times 10^{-31} \text{ kg}$	
$v_{\text{so}} = 343,2 \text{ m/s}$	(En aire)
$v_{\text{so}} = 1484 \text{ m/s}$	(En aigua)
$v_{\text{so}} = 5120 \text{ m/s}$	(En ferro)
$v_{\text{so}} = 12\,000 \text{ m/s}$	(En diamant)

⁶A la superfície de la Terra i a nivell de mar