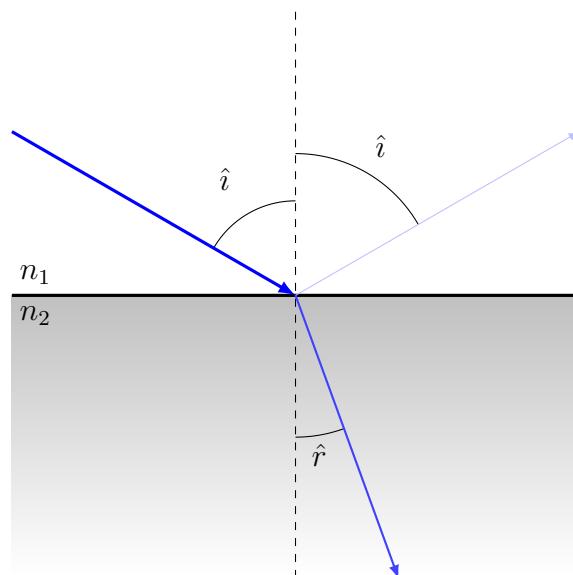


# Física NS

Apunts Batxillerat



Aleix Boné  
Excelsior A  
2015-17

# Índex

<b>1</b>	<b>Cinemàtica</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Dinàmica</b>	<b>3</b>
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
<b>3</b>	<b>Treball i energia</b>	<b>4</b>
3.1	Forces Conservatives	4
3.2	Conservació de l'energia	4
3.3	Potència	4
<b>4</b>	<b>Xocs</b>	<b>5</b>
4.1	Impuls	5
4.2	Inelàstics	5
4.3	Elàstics	5
4.4	Coeficient de restitució	5
<b>5</b>	<b>Dinàmica de rotació</b>	<b>6</b>
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
<b>6</b>	<b>Camp gravitatori</b>	<b>8</b>
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

<b>7</b>	<b>Camp elèctric</b>	<b>10</b>
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
<b>8</b>	<b>Camp magnètic</b>	<b>13</b>
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
<b>9</b>	<b>Circuits elèctrics</b>	<b>19</b>
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

<b>10 Òptica</b>	<b>23</b>
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
<b>11 Fluids</b>	<b>24</b>
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
<b>12 Termodinàmica</b>	<b>26</b>
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
<b>13 Moviment harmònic simple (MHS)</b>	<b>28</b>
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
<b>14 Ones</b>	<b>30</b>
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

<b>15 Física nuclear</b>	<b>34</b>
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 ( $\alpha$ ) . . . . .	34
15.3.2 Beta positiu ( $\beta^+$ ) . . . . .	35
15.3.3 Beta negatiu ( $\beta^-$ ) . . . . .	35
15.3.4 Gamma ( $\gamma$ ) . . . . .	35
15.4 Llei de desintegració radioactiva . . . . .	35
15.5 Període de semi-desintegració . . . . .	35
15.6 Vida mitja ( $\tau$ ) . . . . .	35
15.7 Reaccions nuclears . . . . .	35
15.7.1 Fissió nuclear . . . . .	35
15.7.2 Fusió nuclear . . . . .	36
15.8 Experiment de Rutherford . . . . .	36
15.9 Densitat nuclear . . . . .	36
15.10 Model estàndard de partícules . . . . .	36
15.10.1 Leptons . . . . .	37
15.10.2 Quarks . . . . .	37
15.10.3 Hadrons . . . . .	38
15.10.4 Teoria del confinament . . . . .	38
15.10.5 Diagrames de Feynman . . . . .	38
<b>16 Física Quàntica</b>	<b>39</b>
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
<b>17 Relativitat</b>	<b>41</b>
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
<b>18 Unitats del SI</b>	<b>43</b>
<b>19 Constants</b>	<b>44</b>

# 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	$= \omega t$
$\phi$ = angle	$= \phi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
$\omega$ = velocitat angular	$= \frac{d\phi}{dt} = \omega_0 + \alpha t$
$\alpha$ = acceleració angular	$= \frac{d\omega}{dt}$
$\omega_m$ = velocitat angular mitja	$= \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$
$\alpha_m$ = acceleració angular mitja	$= \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
$T$ = període	$= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$
$\nu$ = 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)

$$\sum \vec{F} = 0 \iff \text{objecte en MRU o repòs.}$$

#### 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 ( $\mu$ ):

- $\mu_e$  = 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

$$\int \vec{F} d\vec{r} = ctt$$

(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

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

## 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

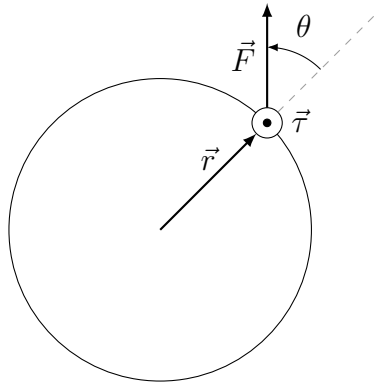
### 5.1 Moment

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*

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

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

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

### 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:

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

### 5.2 Energia de rotació

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

En general, l'energia cinètica es:

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

### 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:

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

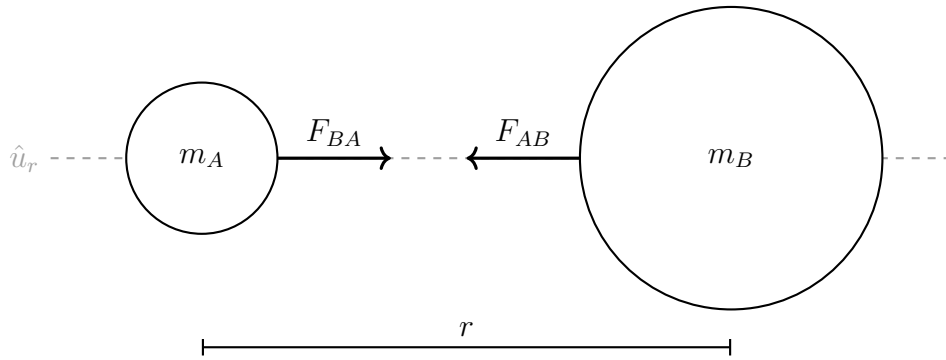
## 6 Camp gravitatori

### 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

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

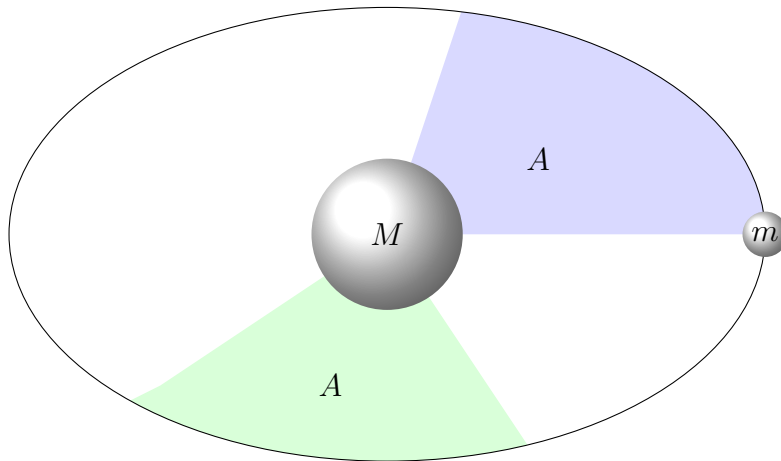
## 6.7 Lleis de Kepler

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

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

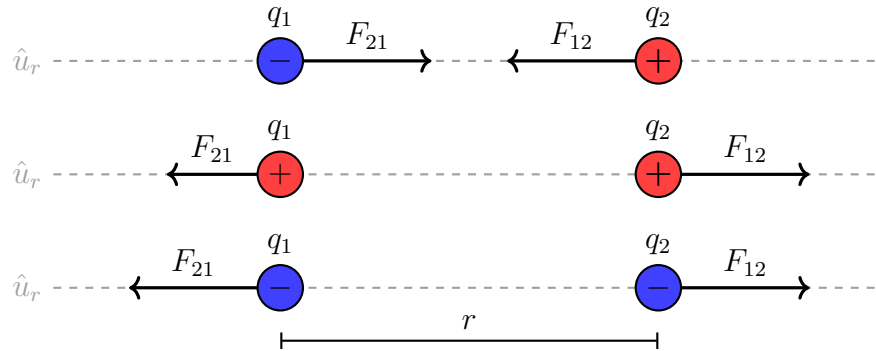
## 7 Camp elèctric

### 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:

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

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

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

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

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

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

## 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	$\rho$	C/m <sup>3</sup>
Superficial	$\sigma$	C/m <sup>2</sup>
Lineal	$\lambda$	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

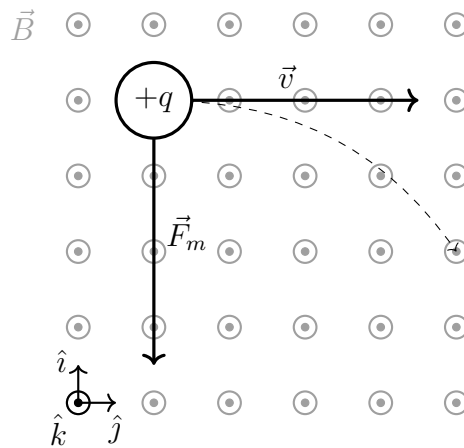
$$\vec{B} \quad [\text{T} = \text{kg}/\text{A s}^2] \quad (68)$$

### 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



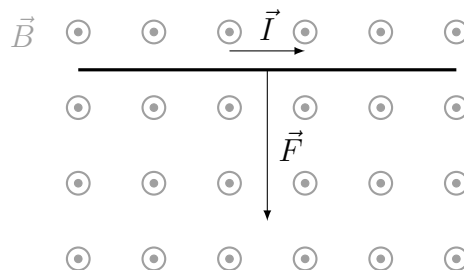
La força de Lorentz és sempre perpendicular a  $\vec{v}$  i a  $\vec{B}$ , la magnitud de la força és

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

### 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  $I$ :

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

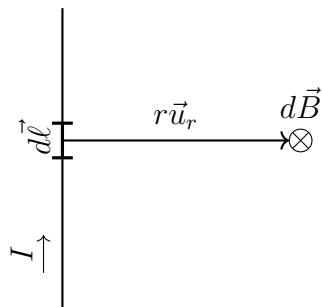


### 8.3 Llei de Biot i Savart

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

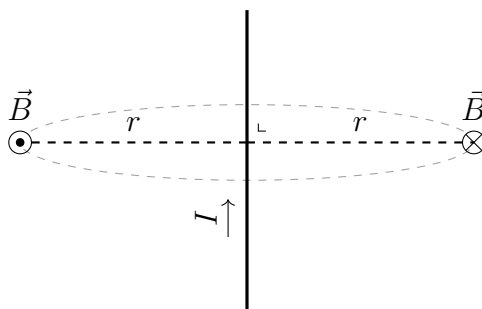
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2} \quad (72)$$

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



### 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

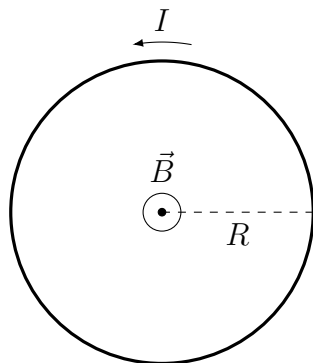
Dos cables pels quals circula uns corrents  $I_1$  i  $I_2$  generen una força un sobre l'altre degut als camp magnètic que formen.

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

## 8.6 Camp magnètic d'una espira

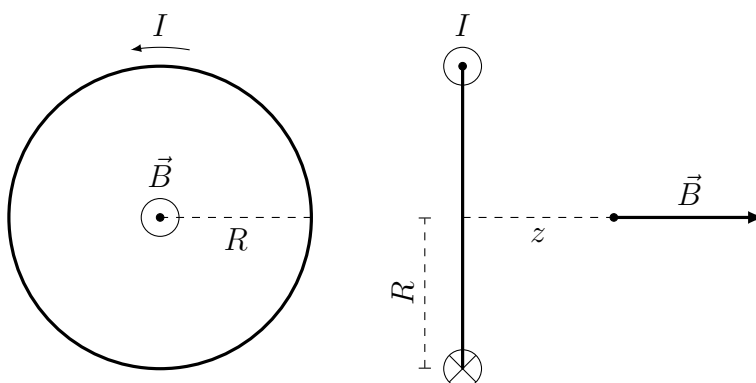
El camp magnètic al centre d'una espira de radi  $r$  on circula una intensitat  $I$  és:

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



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

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

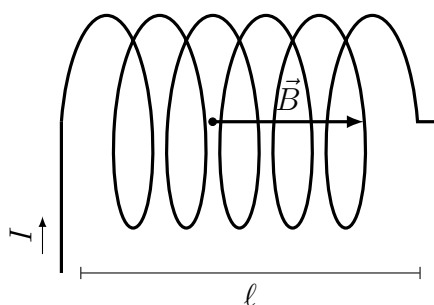


## 8.7 Camp magnètic d'un solenoide

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

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

On  $N$  és el nombre d'espises i  $\ell$  és la longitud del solenoide.

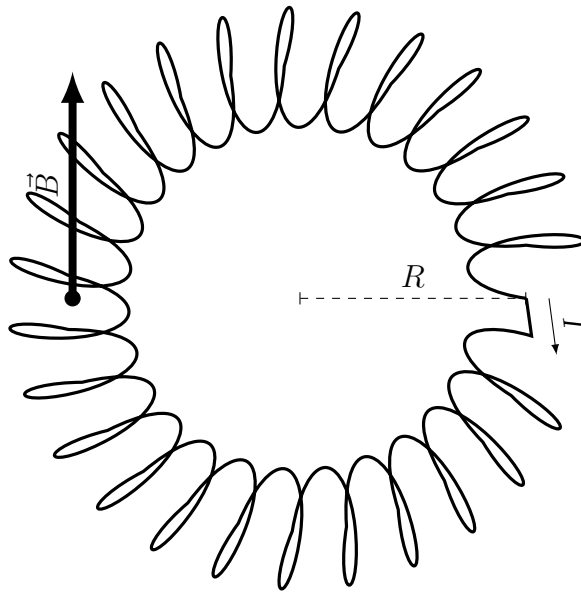


## 8.8 Camp magnètic d'un toroide

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  $\Phi$  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  $\theta$  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  $\varepsilon$  és igual a la variació de flux  $\Phi$  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:

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

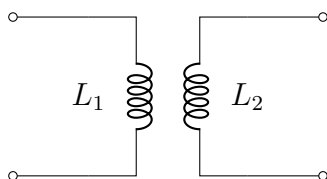
## 8.14 Llei de Gauss per a un camp magnètic

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  $A$  \* 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:

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

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

---

\*secció perpendicular al flux de càrregues

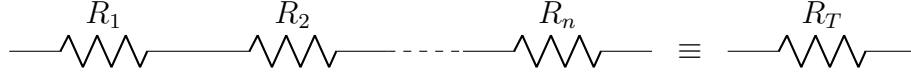


## 9.5 Resistències

La resistència d'un material de longitud  $\ell$  àrea  $A$  i resistivitat elèctrica  $\rho$ <sup>†</sup> [ $\Omega \text{ m}$ ] és:

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

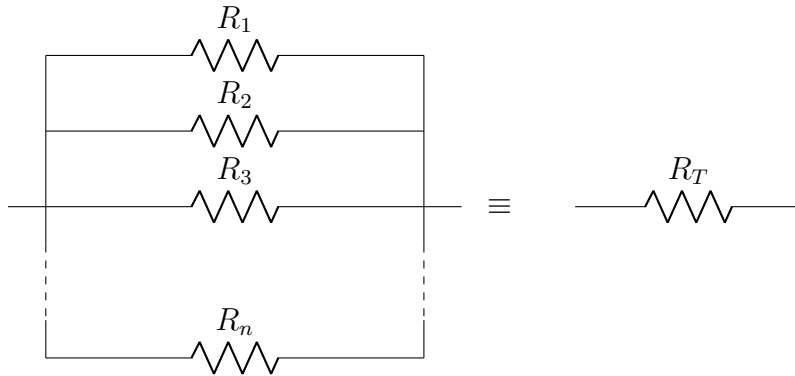
### 9.5.1 En sèrie



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

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

### 9.5.2 En paral·lel



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

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

---

<sup>†</sup>*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

### 9.6.3 Descàrrega d'un condensador

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

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

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

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

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

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

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

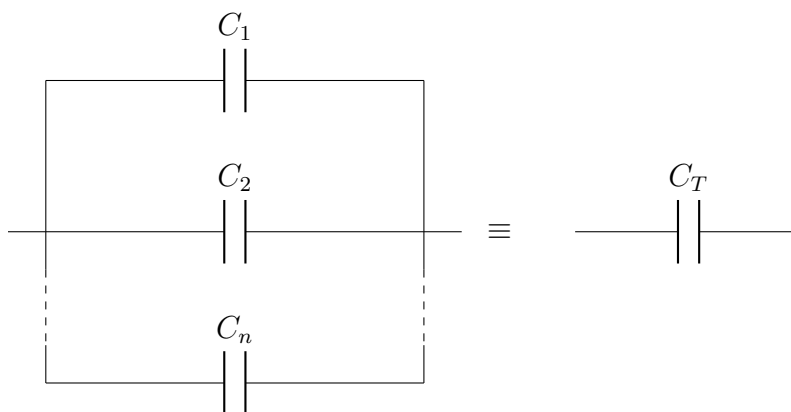
### 9.6.4 En sèrie

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



### 9.6.5 En paral·lel

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



## 9.7 Teorema de Kirchoff

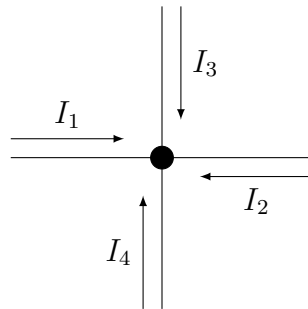
### 9.7.1 Nus

En un nus com el que es mostra a la figura 4, es compleix que<sup>‡</sup>:

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

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

Figura 4: Nus

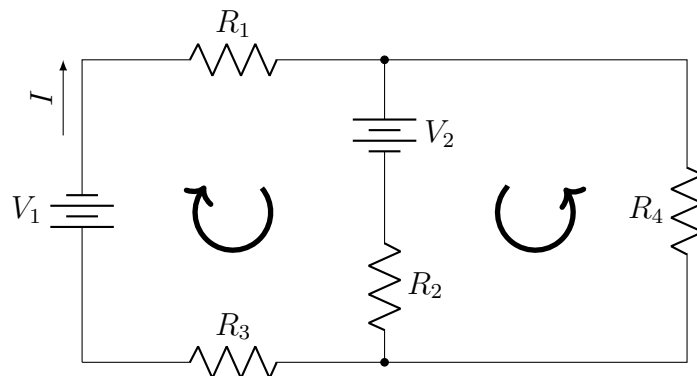


### 9.7.2 Malles

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



---

<sup>‡</sup>S'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  $v$ :

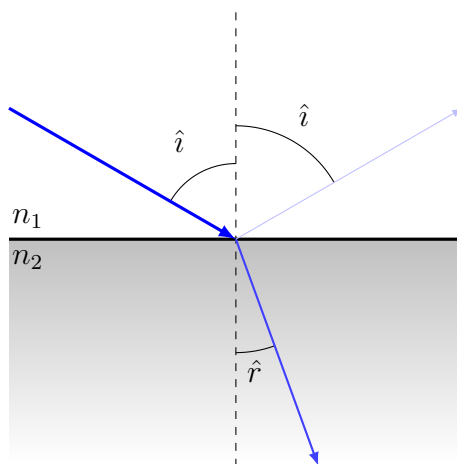
$$n = \frac{c}{v} \quad (118)$$

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

### 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

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

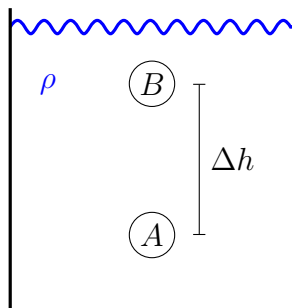
## 11 Fluids

### 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  $\Delta P$  entre dos punts submergits a diferent profunditat  $h$  és igual a la diferència d' $h$  per la densitat del fluid  $\rho$  per l'acceleració de la gravetat  $g$ :

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

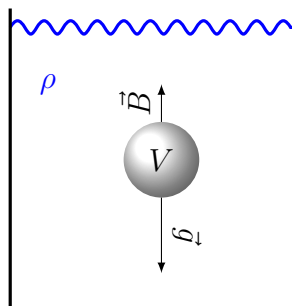


### 11.2 Principi d'Arquímedes

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  $\rho$  i sobre el qual hi actua la força de la gravetat  $\vec{g}$  és:

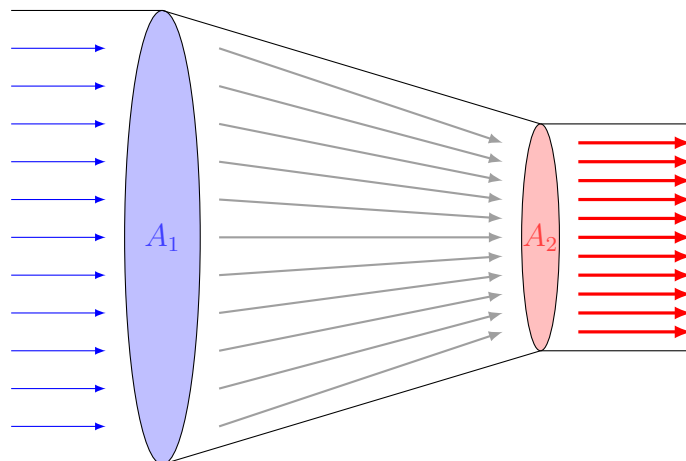
$$\vec{B} = -\rho V \vec{g} \quad (124)$$



### 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  $\rho$  i viscositat cinètica  $\mu$  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 ( $Q = 0$ ).

$$Q = 0$$
$$W = -\Delta U \quad (142)$$

$$PV^\gamma = \text{cte} \quad (143)$$

$$\frac{T}{V^{\gamma+1}} = \text{cte} \quad (144)$$

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

## 12.6 Eficiència

$$\eta = \frac{W}{Q} \quad (145)$$

### 12.6.1 Màquina de Carnot

Consta de tres fases:

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

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \quad (146)$$

## 12.7 Segon principi

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

$$S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (147)$$

$$S = k_B \ln \Omega \quad (148)$$

$$S_{univers} > 0 \quad (149)$$

$\Omega$  és el nombre de microestats possibles del sistema.

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



## 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  $\omega$  i fase  $\phi$  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  $\omega$  i la freqüència  $\nu$  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  $\ell$  que oscil·la en graus petits § és:

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

### 13.4 Energia

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

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

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

---

§Inferiors a  $15^\circ$

## 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  $\omega$  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 llindar 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  $\beta$  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 <sup>¶</sup>:

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

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

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

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:  $r_2 - r_1 = n\lambda$

---

<sup>¶</sup>Mateixes  $\lambda, A, \nu$  i  $\phi$

### 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E_b = \Delta mc^2 \quad (202)$$

### 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

$\gamma$  és energia alliberada.

#### 15.3.1 Alfa ( $\alpha$ )

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

### 15.3.2 Beta positiu ( $\beta^+$ )



### 15.3.3 Beta negatiu ( $\beta^-$ )



### 15.3.4 Gamma ( $\gamma$ )



## 15.4 Llei de desintegració radioactiva

$N$  = nombre de nucleons.

$\lambda$  és la constant de desintegració radioactiva que depen de l'àtom.

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

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

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

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

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

## 15.5 Període de semi-desintegració

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

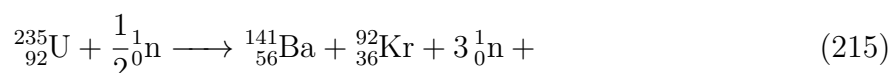
## 15.6 Vida mitja ( $\tau$ )

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$
 (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  $\alpha$  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 ( $\mu$ )
- tauó ( $\tau$ )
- neutrí electrònic ( $\nu_e$ )
- neutrí mònic ( $\mu^+$ )
- neutrí tauònic ( $\tau^0$ )

Taula 1: Propietats dels leptons

càrrega (Q)			nombre leptònic (L)
$e$	$\tau$	$\mu$	$-1$
$\bar{e}$	$\bar{\tau}$	$\bar{\mu}$	$+1$
$\nu_e$	$\nu_\tau$	$\nu_\mu$	$0$
$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\tau$	$\bar{\nu}_\mu$	$0$

### 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)			
$u$	$c$	$t$	$2/3$
$d$	$s$	$b$	$-1/3$
$\bar{u}$	$\bar{c}$	$\bar{t}$	$-2/3$
$\bar{d}$	$\bar{s}$	$\bar{b}$	$1/3$

El quark strange ( $s$ ) té el nombre d'Extranyessa  $S$  què 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)

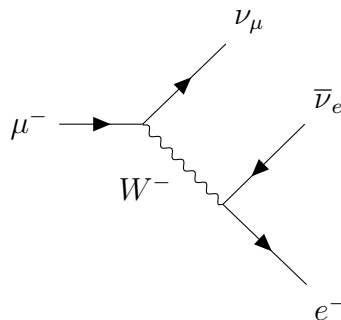
Els quarks que formen un barió tenen nombre bariònic:  $1/3$  pels quarks i  $-1/3$  pels antiquarks.

### 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 l'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 quantums
- 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  $\Psi$  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 complementarietat

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	$C/V$	$s^4\,A^2/kg\,m^2$
$\Omega$	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 <sup>  </sup> )
$k_B = (1,380\,648\,52 \pm 0,000\,000\,79) \times 10^{-23} \text{ J/K}$	(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)
$u = (1,660\,539\,040 \pm 0,000\,000\,020) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= (931,494\,095\,4 \pm 0,000\,005\,7) \text{ MeV}/c_0^2$	(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 lldar)
$b = (2,897\,772\,9 \pm 0,000\,001\,7) \times 10^{-3} \text{ K m}$	(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)

---

<sup>||</sup>A la superfície de la Terra i a nivell de mar