

# Formule di Fisica

Davide Cossu

Questo è un formulario con le formule di fisica fatte e con alcune spiegazioni teoriche.

## Indice

<b>Costanti</b>	<b>2</b>
<b>Unità di misura</b>	<b>3</b>
<b>Vettori</b>	<b>3</b>
Operazioni tra vettori	4
Prodotto scalare	4
Prodotto vettoriale	4
<b>Cinematica</b>	<b>4</b>
Moto Rettilineo Uniforme	4
Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato	4
Moto Parabolico	4
Tempo	4
Gittata	4
Altezza massima	5
Velocità in un punto	5
Moto Circolare Uniforme	5
Forza centrifuga/centripeta	5
Moto Armonico	5
Moto Circolare Uniformemente Accelerato	5
<b>Dinamica</b>	<b>5</b>
Secondo Principio della Dinamica	5
Attrito	5
Piano Inclinato	6
Funi e carrucole	6
Lavoro, Energia e Potenza	6
Legge di Hooke e energia elastica	6
Quantità di moto e teorema dell'impulso	6
Urti	6
Elastico	6
Anaelastico	6
Proiettile contro un corpo	7
Urti obliqui	7
Centro di Massa	7
Momento Angolare e Inerzia	7
Teorema di König	7
<b>Gravitazione</b>	<b>7</b>
Terza legge di Keplero	7
Legge di Gravitazione Universale	7
Accelerazione Gravitazionale su un pianeta	8
Velocità di un satellite	8
Velocità di fuga	8
<b>Idrostatica</b>	<b>8</b>
Legge di Stevino	8
Legge dei vasi comunicanti	8
Principio di Archimede	8
Volume della parte immersa	8
<b>Idrodinamica</b>	<b>8</b>
Equazione di Bernoulli	8
Se il tubo è orizzontale	8
Equazione di Torricelli	8
<b>Termodinamica</b>	<b>9</b>
Dilatazione	9
Lineare	9
Superficiale	9

Leggi di Gay-Lussac e Boyle-Mariotte	9
Prima legge di Gay-Lussac	9
Seconda legge di Gay-Lussac	9
Legge di Boyle-Mariotte	9
Gas	9
Equazione di stato dei gas perfetti	9
Proprietà dei Gas	9
Calorimetria	9
Capacità termica	9
Calore specifico	9
Quantità di calore	9
Temperatura di equilibrio	10
Calore latente	10
Teoria Cientico-Molecolare	10
Forza in una mole	10
Pressione	10
Quantità di moto della parete	10
Energia cinetica	10
Energia interna	10
Termodinamica (Lavoro)	10
Primo principio della termodinamica	10
Lavoro di un'isobara	10
Lavoro di un'isoterma	10
Lavoro di un'isocora	10
Lavoro di un ciclo	10
Lavoro di un'adiabatica	10
Equazione di Meyer	10
Equazioni di Poisson	11
Macchina di Carnot	11
Entropia	11
Proprietà dell'entropia	11
Entropia di un sistema isolato	11
Entropia dell'universo	11
Entropia di un sistema non isolato	11
Macrostat e microstat	11
Molteplicità di un macrostato	11
Equazione di Boltzman	11
<b>Onde</b>	<b>11</b>
Formule sperimentali	12
Relazione fondamentale	12
Equazioni dell'onda	12
Equazione con $x$ fissato	12
Equazione con $t$ fissato	12
Equazione generale dell'onda	12
Equazione di Huygens	12
Rifrazione	12
Relazione di Snell	12
Distanza di Rifrazione	12
Angolo limite	13
Immagine riassuntiva	13
Interferenza	13
Interferenza Costruttiva	13
Interferenza Distruttiva	13
Esperienza di Young	13
Altezza dell' $n$ -esima frangia	13
Angolo dell' $n$ -esima frangia	13
Differenza di percorso tra i due fori	13
Lenti e Specchi	14
Equazione generale	14
Ingrandimento	14
Diottria	14
Lenti attaccate	14
Onde Stazionarie	14
Equazione dell'onda stazionaria	14
Lunghezza dell'onda	14
Frequenza del ventre	14
Suono	14
Intensità	14
Livello sonoro	15

Effetto Doppler . . . . .	15
Battimenti . . . . .	15
<b>Elettrostatica</b>	<b>15</b>
Legge di Coulomb . . . . .	15
Campo elettrico . . . . .	15
Teorema di Coulomb . . . . .	15
Flusso . . . . .	15
Teorema di Gauss . . . . .	16
Lavoro di un campo elettrico . . . . .	16
Lavoro di una carica in un condensatore . . .	16
Capacità elettrica . . . . .	16
Circuitazione . . . . .	16
Dielettrico all'interno di un condensatore . . . . .	16
<b>Circuiti elettrici</b>	<b>16</b>
Corrente elettrica . . . . .	16
Collegamenti . . . . .	16
In serie . . . . .	16
In parallelo . . . . .	17
Condensatori . . . . .	17
Capacità equivalente di condensatori in <i>serie</i>	17
Capacità equivalente di condensatori in	
<i>parallelo</i> . . . . .	17
Proprietà di condensatori in serie ed in parallelo	17
Resistenze . . . . .	17
Leggi di Ohm . . . . .	17
Capacità equivalente di resistenze in <i>serie</i> . .	17
Capacità equivalente di resistenze in <i>parallelo</i>	17
Proprietà di condensatori in serie ed in parallelo	17
Tabella riassuntiva delle formule . . . . .	17
Generatori . . . . .	18
Forza elettromotrice . . . . .	18
Potenza elettrica . . . . .	18
<b>Magnetismo</b>	<b>18</b>
Forza in un campo magnetico . . . . .	18
Legge di Biot-Savart . . . . .	18
Legge di Ampère . . . . .	18
Forza di Lorentz . . . . .	18
Selettore di velocità . . . . .	19
Conduttori nei metalli . . . . .	19
Carica massima . . . . .	19
Velocità di deriva . . . . .	19

**Durante tutto il formulario, si userà il sistema internazionale di notazione, ovvero . per separare interi da decimali e , per separare le migliaia se necessario.**

## Costanti

Qui verranno riportate le costanti usate nelle formule con relativo simbolo e unità di misura.

Simbolo	Nome	Valore	Unità di misura
$g$	Accelerazione gravitazionale	9.81	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
$G$	Costante di Gravitazione Universale	$6.67 \cdot 10^{-11}$	$\frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$
$p_{atm}$	Pressione atmosferica	1 $1.01 \cdot 10^5$ 760 $1.01 \cdot 10^5$ 1	atm Pa mm Hg $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ bar
$N_A$	Numero di Avogadro	$6.02 \cdot 10^{23}$	/
$V_m$	Volume occupato da Gas in STP	22.4	l
$R$	Costante universale dei Gas	0.0821 8.31	$\frac{\text{l} \cdot \text{atm}}{\text{nK}}$ $\frac{\text{J}}{\text{nK}}$
$c_{H_2O}$	Calore specifico dell'acqua	4186 1	$\frac{\text{C}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
$k_B$	Costante di Boltzman	$1.381 \cdot 10^{-23}$	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$
$c$	Velocità della luce	$3 \cdot 10^8$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$I_0$	Soglia di udibilità	$10 \cdot 10^{-12}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
$I_m$	Soglia del dolore	1	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
$v$	Velocità del suono	343	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$\varepsilon_0$	Costante dielettrica nel vuoto	$8.9 \cdot 10^{-12}$	$\frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$
$k_0$	Costante di Coulomb	$9 \cdot 10^9$	$\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$
$e^-$	Carica di un elettrone	$-1.60 \cdot 10^{-19}$	C
$m_{e^-}$	Massa di un elettrone	$9.11 \cdot 10^{-28}$	kg
$\mu_0$	Permeabilità magnetica nel vuoto	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\frac{\text{N}}{\text{A}^2}$

## Unità di misura

Grandezza	Nome	Simbolo	Definizione
<b>Lunghezza</b>	Metro	m	/
<b>Massa</b>	Kilogrammo	kg	/
<b>Tempo</b>	Secondo	s	/
<b>Corrente elettrica</b>	Ampère	A	/
<b>Temperatura</b>	Kelvin	K	/
<b>Quantità di sostanza</b>	Mole	mol	/
Area	Metro quadrato	m <sup>2</sup>	/
Volume	Metro cubo	m <sup>3</sup>	/
Velocità	Metro al secondo	m/s	/
Accelerazione	Metro al secondo quadrato	m/s <sup>2</sup>	/
Frequenza	Hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
Angolo	Radiante	rad	/
Forza	Newton	N	m·kg·s <sup>-2</sup>
Pressione	Pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
Energia, Lavoro, Quantità di calore	Joule	J	N·m
Carica Elettrica	Coulomb	C	s·A
Potenziale Elettrico	Volt	V	W/A
Capacità	Farad	F	C/V

Le unità in grassetto, sono le unità fondamentali.

## Vettori

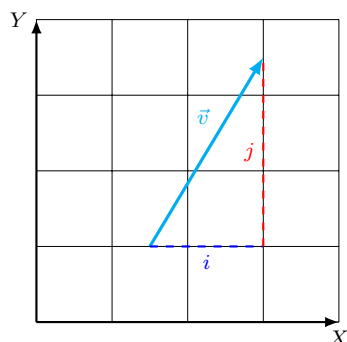
Questa prima sezione è introduttiva ad uno dei concetti più comuni in fisica: il *vettore*.

Un vettore può essere rappresentato in molti modi, tra cui:

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ \vdots \end{bmatrix} = (a, b, \dots)$$

Un vettore è composto di un numero definito di *componenti*, solitamente una per ciascuna dimensione in cui si lavora.

Quindi è decisamente più comune trovare vettori *bidimensionali* che non con un numero maggiore di componenti.



In questa immagine è possibile vedere un vettore  $\vec{v}(i, j)$  e le sue componenti.

D'ora in poi sarà dato per scontato che i vettori siano bi-dimensionali.

## Operazioni tra vettori

Le operazioni come addizione e sottrazione funzionano molto semplicemente sommando algebricamente le componenti tra di loro:

$$\vec{v}_1(a_1, b_1) \pm \vec{v}_2(a_2, b_2) = \vec{v}(a_1 \pm a_2, b_1 \pm b_2)$$

La moltiplicazione tra vettori può avere come risultato o un *vettore* o uno *scalare*.

## Prodotto scalare

$$\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = a_1 a_2 + b_1 b_2$$

Come si può notare il prodotto scalare tra due vettori torna uno scalare (ovvero un numero). In fisica però è molto più comune trovare questa definizione di prodotto scalare:

$$\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = \|\vec{v}_1\| \cdot \|\vec{v}_2\| \cos \theta$$

$\|\vec{v}\|$  è il modulo del vettore  $\vec{v}$ , ovvero la sua lunghezza.  $\theta$  è l'angolo formato dai due vettori.

## Prodotto vettoriale

$$\vec{v}_1 \times \vec{v}_2 = n \|\vec{v}_1\| \cdot \|\vec{v}_2\| \sin \theta$$

$\|\vec{v}\|$  è il modulo del vettore  $\vec{v}$ , ovvero la sua lunghezza.  $\theta$  è l'angolo formato dai due vettori.  $n$  è la *normale* del piano su cui stanno i vettori. Una *normale* è un vettore perpendicolare ad un oggetto dato.

Per scoprire la direzione del nuovo vettore si può usare la così detta 'regola della mano'. Essa dice:

1. Usare il pollice della mano destra in direzione e verso del **primo** vettore
2. Usare l'indice o le altre dita in direzione e verso del **secondo** vettore
3. Il nuovo vettore avrà la direzione che attraversa il palmo perpendicolarmente e il verso uscente dalla mano.

## Cinematica

La cinematica si occupa dello studio dei moti dei corpi. Infatti viene anche definita come *geometria del movimento*. In tutti i problemi verrà ignorato l'attrito con l'aria. Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Moto Rettilineo Uniforme

$$x = x_0 + vt$$

$x$ : posizione finale dell'oggetto  
 $x_0$ : posizione iniziale dell'oggetto  
 $v$ : velocità  
 $t$ : tempo

## Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato

$$v = v_0 + at$$

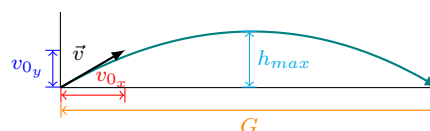
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta x$$

$v$ : velocità finale  
 $v_0$ : velocità iniziale  
 $a$ : accelerazione  
 $t$ : tempo  
 $x$ : posizione finale  
 $x_0$ : posizione iniziale  
 $\Delta x$ :  $x - x_0$

## Moto Parabolico



Ovviamente valgono sempre le formule del *Moto Rettilineo* e *Moto rettilineo uniformemente accelerato*.

$v_{0x}$  è costante per tutto il moto,  $v_{0y}$  è 0 quando si trova nel punto di massima altezza.

## Tempo

$$t = \frac{x}{v_{0x}} = \frac{2v_{0y}}{g}$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$x$ : posizione dell'oggetto sull'asse X

$y$ : posizione dell'oggetto sull'asse Y

$v_0$ : velocità iniziale (vettore)

Da queste si deriva che

$$y = v_{0y} t - \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{v_{0x}} \right)^2$$

## Gittata

$$G = \frac{2v_{0x} v_{0y}}{g}$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$ ;  $9.81 \text{ m/s}^2$

$v_0$ : velocità iniziale (vettore)

### Altezza massima

$$h_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$g$ : 9.81 m/s<sup>2</sup>

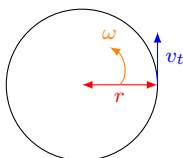
$v_0$ : velocità iniziale (vettore)

### Velocità in un punto

$$v = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

$g$ : 9.81 m/s<sup>2</sup>

### Moto Circolare Uniforme



Nel moto circolare, si distinguono due generi diversi di velocità: *tangenziale* e *angolare*.

La velocità tangenziale ( $v_t$ ) è quella che cambia ad ogni istante direzione e che porterebbe il corpo a lasciare la traiettoria.

La velocità angolare ( $\omega$ ) è costante per ogni punto della circonferenza e indica quanto veloce un corpo ruota.

Si noti anche che  $r$  indica la distanza dal centro di rotazione al corpo in oggetto.

#### Velocità tangenziale

$$v_t = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$$

$r$ : raggio della circonferenza

$T$ : periodo del moto, ovvero quanto impiega a compiere un giro completo

$\omega$ : velocità angolare

#### Velocità angolare

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

$\alpha$ : angolo a cui si trova il corpo

$t$ : tempo

$T$ : periodo del moto

#### Accelerazione centrifuga

$$a_c = \frac{\Delta v}{T} = \frac{2\pi\omega}{T} = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} = \omega v$$

$\Delta v$ : variazione di velocità

$T$ : periodo del moto

$\omega$ : velocità angolare

$r$ : raggio della circonferenza

### Forza centrifuga/centripeta

Nonostante siano forze (e quindi argomento di dinamica) sono strettamente collegate al MCU. Le due forze sono quelle che spingono verso l'interno o l'esterno un corpo entrato in rotazione.

$$F_c = m \cdot a_c$$

$a_c$ : accelerazione centrifuga

Se nel caso di un'auto in curva, la forza centrifuga è pari a

$$F_c = \mu \cdot F_p = F_{\text{attrito}}$$

### Moto Armonico

Molte delle formule del moto armonico sono ricavabili dal moto circolare.

$$x = r \sin \omega t$$

$$\vec{a} = -\omega^2 \vec{x}$$

$r$ : raggio della circonferenza

$\omega$ : velocità angolare

$x$ : posizione dell'oggetto

$\alpha$ : accelerazione angolare

### Moto Circolare Uniformemente Accelerato

Le formule sono praticamente le stesse del moto rettilineo, solo che invece di  $x$  si ha  $\theta$ , invece di  $v$  si ha  $\omega$  e invece di  $a$  si ha  $\alpha$ .

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$a_t = \alpha r$$

$\theta$ : posizione angolare

$\omega$ : velocità angolare

$r$ : raggio della circonferenza

$t$ : tempo

$a_t$ : accelerazione tangenziale

$\alpha$ : accelerazione angolare

### Dinamica

La dinamica si occupa di studiare le forze che intercorrono tra corpi e che li fanno muovere.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

### Secondo Principio della Dinamica

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

### Attrito

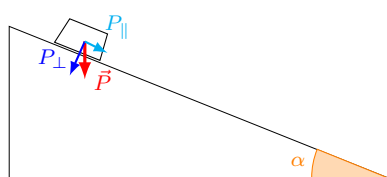
Ci sono vari tipi di attrito: *statico*, *dinamico* e *volvente* ma tutti si basano sulla stessa idea: moltiplicare il coefficiente di attrito tra le superfici per la forza premente.

$$F_d = \mu_d F_p$$

$$F_s = \mu_s F_p$$

$F_p$ : forza premente

## Piano Inclinato



$$P_{\perp} = P \cos \alpha$$

$$P_{\parallel} = m \cdot a_x = P \sin \alpha$$

$$a_x = g \sin \alpha$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

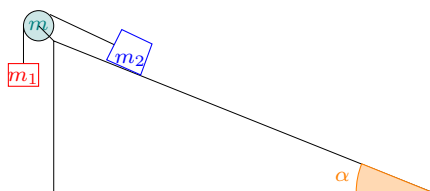
$m$ : massa del corpo

$a_x$ : accelerazione sul piano inclinato

$\vec{P}$ : vettore della forza peso. Si noti che  $P$  è il suo modulo

$\alpha$ : alzo del piano

## Funi e carrucole



$$a = \frac{m_1 g - m_2 g \sin \alpha}{m_1 + m_2 + \frac{m}{2}}$$

Si noti che questa formula è particolare per questo caso. Si noti anche che  $\frac{m}{2}$  è da aggiungere solo se si ha la massa della carrucola e quindi il suo peso non è trascurabile. Per una formula più generale si usi

$$a = \frac{\sum \vec{F}}{\sum m}$$

Per gli esercizi relativi a queste tre sottosezioni, si vada [qui](#).

## Lavoro, Energia e Potenza

$$\vec{L} = \vec{F} \cdot \vec{S} = \Delta E$$

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

$$P = \frac{L}{t}$$

$$U = mgh$$

$$U_1 + E_1 = U_2 + E_2$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$L$ : lavoro

$F$ : forza

$S$ : spostamento

$E_c$ : energia cinetica

$P$ : potenza

$U$ : energia potenziale

$m$ : massa del corpo

$v$ : velocità del corpo

Il *Lavoro* è un vettore che si compone della forza applicata sul corpo e del suo spostamento.

L'*Energia cinetica* è l'energia di un corpo in movimento.

La *Potenza* indica la quantità di energia scambiata nel tempo.

L'*Energia potenziale* è quanto energia potrebbe generare quel corpo. Dipende dall'altezza.

Queste sono formule generali, che danno le definizioni. Negli esercizi verrà particolarmente utile  $U_1 + E_1 = U_2 + E_2$  in quanto permette di trovare la velocità o la massa o l'altezza di un corpo in due diverse situazioni.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

Vediamo ora alcune formule particolari:

## Legge di Hooke e energia elastica

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

$$U_e = \frac{1}{2} k \Delta x^2$$

$k$ : costante elastica della molla

$\vec{x} \approx \Delta x$ : variazione di posizione

Queste formule sono relative a molle.

## Quantità di moto e teorema dell'impulso

$$\vec{q} = m\vec{v}$$

$$\vec{I} = \Delta \vec{q} = \vec{F} \Delta t$$

$m$ : massa del corpo

$\vec{v}$ : velocità del corpo

$\vec{F}$ : forza applicata sul corpo

$t$ : tempo

La quantità di moto indica la forza necessaria a fermare un oggetto in movimento in un dato lasso di tempo.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Urti

Si distinguono 2 tipi di urti: *elastici* e *an elastici*.

Negli urti *elastici* i due corpi collidono ma rimangono separati. Ad esempio due palle da biliardo.

Negli urti *an elastici* i due corpi che collidono rimangono attaccati l'uno all'altro, come nel caso di un pesce che ne mangia un altro o di un proiettile che colpisce un sacco.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Elastico

$$v_{1f} = \frac{v_{1i}(m_1 - m_2) + 2m_2 v_{2i}}{m_1 + m_2}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1 v_{1i} + v_{2i}(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2}$$

1: relativo al primo corpo

2: relativo al secondo corpo

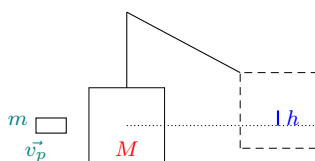
## Ana elastico

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = v(m_1 + m_2)$$

1: relativo al primo corpo

2: relativo al secondo corpo

## Proiettile contro un corpo



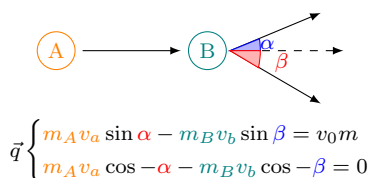
$$v_p = \frac{M+m}{m} \sqrt{2gh}$$

$$h = \frac{v_p^2 m^2}{2g(M+m)^2}$$

$g$ : 9.81 m/s<sup>2</sup>

## Urti obliqui

Un urto obliquo è come nel seguente caso, ovvero quando due corpi collidono e partono in direzioni diverse.



## Centro di Massa

Il centro di massa è un punto in un corpo. In quel punto si potrebbe concentrare tutta la massa del corpo per renderlo puntiforme.

Le formule riportate possono valere per tutte le dimensioni, qui però verrà presa in considerazione solo una per semplicità.

$$x = \frac{\sum_{i=0}^n m_i x_i}{\sum_{i=0}^n m_i} \quad \vec{v}_{CM} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=0}^n m_i} \quad \vec{a}_{CM} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i \vec{a}_i}{\sum_{i=0}^n m_i}$$

Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Momento Angolare e Inerzia

Il momento angolare ( $\vec{L}$ ) è la quantità di moto per le rotazioni.

Al concetto di *momento angolare* si accompagna anche quello di **momento di inerzia**. L'inerzia ( $I$ ) indica quanto un corpo si oppone alla rotazione.

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{q}$$

Da qui si nota la relazione stretta con la [Quantità di moto e teorema dell'impulso](#).

$$L = r q \sin \alpha = r \cdot v \cdot m \cdot q \sin \alpha = m r^2 \omega \sin \alpha = I \omega \sin \alpha$$

$$I = m r^2 = \sum_{i=0}^n m_i r_i^2$$

$m$ : massa del corpo  
 $\omega$ : velocità angolare  
 $v$ : velocità tangenziale  
 $\alpha$ : angolo di rotazione

$q$ : quantità di moto

Se l'asse su cui è applicata l'inerzia non coincide con quello di rotazione ma gli è **parallelo**, si usi questa formula

$$I = I_{CM} + m d^2$$

In aggiunta al momento angolare e al momento di inerzia, c'è la **forza angolare** ( $\vec{M}$ ). Molto semplicemente è definita

$$\vec{M} = I \vec{\alpha}$$

$$\Delta L = M \Delta t$$

che è una forma molto simile a  $\vec{F} = m \vec{a}$ . Infatti  $\alpha$  identifica l'**accelerazione angolare**.

Studiando la statica di un corpo rigido, si dimostra che

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

## Teorema di König

Il teorema di König descrive un moto roto-traslato. Ad esempio una ruota che si muove sull'asfalto (ruota sul suo asse e trasla sull'asfalto).

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m v_{CM}^2$$

$I$ : inerzia

$\omega$ : velocità angolare

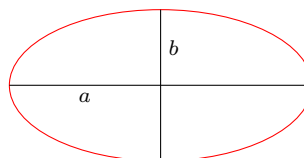
$v_{CM}$ : velocità del centro di massa

Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Gravitazione

La gravitazione si occupa di studiare le forze che intercorrono tra corpi celesti.

Essendo le orbite ellittiche (come dice la prima legge di Keplero),  $a$  e  $b$  si riferiscono ai semiassi rispettivamente maggiore e minore.



Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Terza legge di Keplero

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

$T$ : periodo di rivoluzione

## Legge di Gravitazione Universale

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$G$ :  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$m$ : massa di un pianeta/corpo

$r$ : raggio/distanza tra i corpi

## Accelerazione Gravitazionale su un pianeta

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

$G$ :  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$M$ : massa del pianeta

$R$ : raggio del pianeta

## Velocità di un satellite

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

$G$ :  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$M$ : massa del pianeta

$R$ :  $r + h$ : raggio del pianeta più distanza dalla superficie

## Velocità di fuga

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$G$ :  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$M$ : massa del pianeta

$R$ : raggio del pianeta

La velocità di fuga è la velocità che un corpo deve avere per poter entrare in orbita del pianeta.

## Idrostatica

L'idrostatica studia i fluidi in stato di equilibrio. Studia anche le pressioni.

## Legge di Stevino

La legge di Stevino trova la pressione ad una data profondità.

$$p = p_{atm} + \delta gh$$

$\delta$ : densità del liquido

$p_{atm}$ :  $1 \text{ atm} = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mm Hg} = 1.01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ bar}$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$ : profondità

Se vista in un modo più generale si trova la pressione tra due punti

$$p_2 = p_1 + \delta g \Delta h$$

$\delta$ : densità del liquido

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$ : profondità

## Legge dei vasi comunicanti

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\delta_2}{\delta_1}$$

I livelli di liquidi sono inversamente proporzionali alla densità dei liquidi. Si presti attenzione alla densità corretta.

## Principio di Archimede

Il principio di Archimede permette di trovare la forza di galleggiamento.

$$F_g = \delta_f V g$$

Al principio di Archimede è collegata la condizione di equilibrio di un corpo in un fluido:

*‘Un corpo è in equilibrio in un fluido se la sua forza peso compensa la spinta di Archimede, cioè se il suo peso è uguale al peso del fluido spostato.’*

## Volume della parte immersa

$$V_{imm} = V_s \frac{\delta_s}{\delta_f}$$

$s$ : relativo al solido

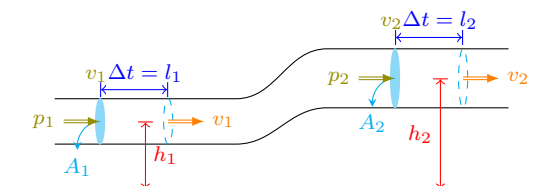
$f$ : relativo al fluido

## Idrodinamica

L'idrodinamica studia i movimenti dei liquidi e la loro relazione con il contenitore.

Il seguente disegno verrà utilizzato per definire le formule e far capire il significato delle lettere.

Per gli esercizi, si vada [qui](#).



Nelle seguenti formule,  $S$  (la superficie trasversale del tubo) è definito come  $A \cdot l$ .

## Equazione di Bernoulli

Quest'equazione descrive un qualsiasi moto tra due punti di un qualsiasi fluido.

$$p_1 + \delta g h_1 + \frac{1}{2} \delta v_1^2 = p_2 + \delta g h_2 + \frac{1}{2} \delta v_2^2$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$\delta$ : densità del fluido

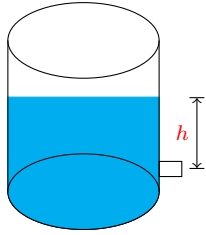
## Se il tubo è orizzontale

$$\text{Portata} = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

## Equazione di Torricelli

Si usi questa formula quando si deve trovare a che velocità esce un liquido da un contenitore.





$$v = \sqrt{2gh}$$

$g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$ : altezza della colonna di fluido premente sul punto d'uscita

## Termodinamica

La termodinamica si occupa di studiare come un corpo si modifica alla variazione di *temperatura*, *pressione* e *volume*. Si tenga conto che  $t$  rappresenta la temperatura in  $^{\circ}\text{C}$  e  $T$  in  $\text{K}$ .

Per gli esercizi si vada [qui](#).

### Dilatazione

Ci sono 3 tipi di dilatazione dipendentemente da quante dimensioni coinvolge.

#### Lineare

$$l = l_0 (1 + \lambda \Delta t)$$

$$\Delta l = l_0 \lambda \Delta t$$

$\lambda$ : coefficiente di dilatazione lineare

#### Superficiale

$$S = S_0 (1 + \beta \Delta t)$$

$$\Delta S = S_0 \beta \Delta t$$

$\beta$ :  $2\lambda$ , coefficiente di dilatazione superficiale

#### Volumetrica

$$V = V_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta t$$

$\alpha$ :  $3\lambda$ , coefficiente di dilatazione volumetrica

## Leggi di Gay-Lussac e Boyle-Mariotte

Queste 3 leggi definiscono la base della termodinamica e vengono usate in casi particolari.

### Prima legge di Gay-Lussac

Da usarsi quando  $p = \text{costante}$ , trova il nuovo volume al variare della temperatura.

$$V = \frac{V_0}{T_0} T$$

### Seconda legge di Gay-Lussac

Da usarsi quando  $V = \text{costante}$ , trova la nuova pressione al variare della temperatura.

$$p = \frac{p_0}{T_0} T$$

### Legge di Boyle-Mariotte

Da usarsi quando  $T = \text{costante}$ , definisce un prodotto costante tra volume e pressione.

$$pV = \text{costante}$$

Questa formula diventa specialmente utile quando si hanno 2 situazioni e si può mettere a sistema.

## Gas

Questa sottosezione si dedicherà agli studi effettuati sui gas.

### Equazione di stato dei gas perfetti

$$pV = nRT$$

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

$n$ : numero di moli

### Proprietà dei Gas

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Questa proprietà è indispensabile in alcuni esercizi in quanto mette in relazione due situazioni e permette di trovare tutte le caratteristiche.

## Calorimetria

Questa sottosezione è dedicata a descrivere le formule relative alla quantità di calore e capacità termica.

### Capacità termica

Indica quanto velocemente un corpo assorbe calore.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$Q$ : quantità di calore assorbito dal corpo

$\Delta T$ : variazione di temperatura

### Calore specifico

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

$C$ : capacità termica

### Quantità di calore

$$Q = C \Delta t = mc \Delta T$$

$C$ : capacità termica

## Temperatura di equilibrio

La temperatura di equilibrio è la temperatura che raggiungono due corpi a contatto fra di loro.

$$t_e = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

$t_1$ : relativo al primo corpo

$t_2$ : relativo al secondo corpo

Si ricordi che se o le masse o i calori specifici si possono eliminare fra di loro e di conseguenza semplificare la formula.

## Calore latente

Il calore latente è la quantità di calore scambiata nel passaggio di fase di un corpo.

$$Q_L = c_L m$$

$c_L$ : calore specifico latente, diverso dal *calore specifico*

## Teoria Cinetico-Molecolare

La teoria cinetico-molecolare descrive i movimenti delle molecole all'interno di un gas.

Una lettera che si trova molto spesso in questa sottosezione e nelle successive è la  $l$ , ovvero il grado di libertà del corpo.

$l$	Tipo di Gas
3	Monoatomico
5	Biatomico

## Forza in una mole

$$F_{\text{mole}} = \frac{N}{3} \frac{m}{l} \langle v \rangle^2$$

$N$ : numero di molecole

$\langle v \rangle$ : velocità media

## Pressione

$$p = \frac{N}{3} \frac{m}{V} \langle v \rangle^2 = \frac{2}{3} \frac{N E_c}{V}$$

$N$ : numero di molecole

$V$ : volume

$\langle v \rangle$ : velocità media

$E_c$ : energia cinetica

## Quantità di moto della parete

$$\Delta \vec{q} = 2m \langle \vec{v} \rangle$$

## Energia cinetica

$$E_c = \frac{l}{2} \frac{R}{N} T = \frac{l}{2} k_B T$$

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

$k_B$ :  $1.318 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$T$ : temperatura in Kelvin

## Energia interna

$$U = \sum_{i=0}^n E_{c_i} + \sum_{i=0}^n U_{g_i} = \frac{1}{2} n R T$$

$U_g$ : potenziale gravitazionale, se è un gas perfetto vale 0

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

## Termodinamica (Lavoro)

### Primo principio della termodinamica

$$Q = L + \Delta U$$

### Lavoro di un'isobara

Un'isobara è una trasformazione che mantiene costante la pressione.

$$L = p \Delta V$$

$$Q = \frac{2+l}{2} n R \Delta T$$

$$c_p = \frac{l+2}{2} R$$

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

### Lavoro di un'isoterma

Un'isoterma è una trasformazione che mantiene costante la temperatura.

$$L = Q = n R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

### Lavoro di un'isocora

Un'isocora è una trasformazione che mantiene costante il volume.

$$L = 0$$

$$Q = \Delta U = \frac{l}{2} n R \Delta T$$

$$c_V = \frac{l}{2} R$$

$R$ :  $0.08211 \cdot \text{atm/n} \cdot \text{K}$

### Lavoro di un ciclo

$$L = \sum_{i=0}^n Q_i$$

### Lavoro di un'adiabatica

Un'adiabatica è una trasformazione che non cede calore all'esterno.

$$L = -\Delta U$$

### Equazione di Meyer

$$c_p - c_V = R$$

$c$ : calore specifico molare

## Equazioni di Poisson

$$pV^\gamma = \text{costante}$$

$$V_1^{\gamma-1} T_1 = V_2^{\gamma-1} T_2$$

$$p_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$$

$\gamma$ : rapporto tra  $c_p$  e  $c_v$ , si veda la seguente tabella:

Tipo di gas	$c_p$	$c_v$	$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$
Monoatomico	$\frac{5}{2}R$	$\frac{3}{2}R$	1.6
Biatomico	$\frac{7}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	1.4

## Macchina di Carnot

$$\mu = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{L}{Q_2}$$

$$\mu_c = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

La prima formula definisce il rendimento ( $\mu$ ) di una qualsiasi macchina termica, la seconda solo per una macchina di Carnot.

$$P = \frac{Q\mu}{t}$$

$P$ : potenza

$\mu$ : rendimento

## Entropia

Per definire l'entropia, definiamo la **disuguaglianza di Clausius** che ci aiuterà a capire la definizione di entropia.

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \leq 0$$

se il ciclo è reversibile si ha questa forma

$$\left( \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{\text{rev}} = 0$$

L'**entropia** è in definitiva una formulazione più generale del secondo principio della termodinamica che sia appropriato per ogni trasformazione. L'entropia è una funzione di stato. Per uno stato  $C$  e uno stato di riferimento  $R$  per cui  $S(R) = 0$  J/K, l'entropia è così definita:

$$S(C) = S(C) - S(R) = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{R \rightarrow C, \text{rev}}$$

Per gli esercizi, si vada [qui](#).

## Proprietà dell'entropia

L'entropia è una grandezza estensiva, ovvero che preso un sistema  $\Omega$  che sia l'unione di due sottosistemi indipendenti  $\Omega_1$  e  $\Omega_2$  ( $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ ), la sua entropia è pari a

$$S(C) = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{R \rightarrow C, \text{rev}} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{R \rightarrow C, \text{rev}}^{\Omega_1} + \left( \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{T_i} \right)_{R \rightarrow C, \text{rev}}^{\Omega_2}$$

## Entropia di un sistema isolato

In un sistema isolato l'entropia ha una variazione pari a **zero** solo se la trasformazione è *reversibile*, **maggiore di zero** altrimenti.

## Entropia dell'universo

L'entropia dell'universo è sempre in crescita in quanto non c'è un "ambiente esterno".

## Entropia di un sistema non isolato

Se una trasformazione reale provoca in un sistema una diminuzione di entropia pari a  $|\Delta S|$ , nel resto dell'universo è maggiore di  $|\Delta S|$ .

## Macrostat e microstat

Un *microstato* è una precisa combinazione di elementi microscopici, un *macrostato* è descritto dalle variabili macroscopiche che ne descrivono le proprietà.

Ad esempio: un macrostato per un sistema termodinamico è descritto da almeno due delle tipiche variabili (pressione, volume e temperatura). Un microstato invece è lo stato di ogni molecola di gas nel sistema.

Un microstato corrisponde ad un solo macrostato, un macrostato può essere descritto da più microstati. Si noti anche che più un macrostato è disordinato, più è probabile che si realizzi spontaneamente.

## Molteplicità di un macrostato

Sia  $A$  un macrostato. Si definisce  $W(A)$  come **molteplicità**, ovvero il numero di microstati distinti che corrispondono ad  $A$ .

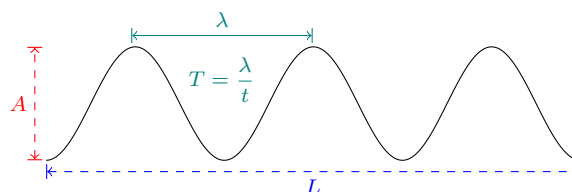
## Equazione di Boltzman

$$S(A) = k_B \ln W(A)$$

$$k_B: 1.318 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

## Onde

Questa sezione si dedica alle formule ed esperimenti relativi allo studio del moto ondoso dei corpi.



Il grafico qua sopra è il grafico della funzione  $\cos x$  che rappresenta un possibile moto di un'onda. Sono anche rappresentate le 3 caratteristiche principali: l'*ampiezza* ( $A$ ), la *lunghezza* ( $L$ ) e la *lunghezza d'onda* ( $\lambda$ ).

Per gli esercizi, si vada [qui](#).

## Formule sperimentali

Di seguito vengono riportate formule sperimentali che quindi dipendono da caratteristiche fisiche.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$
$$\mu = \frac{m}{L}$$

$T$ : tensione della corda

$\mu$ : densità lineare della corda

$m$ : massa della corda

$L$ : lunghezza della corda

## Relazione fondamentale

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

Questa formula mette in relazione la velocità, il periodo, la lunghezza d'onda e la frequenza di oscillazione.

## Equazioni dell'onda

Esistono più equazioni dell'onda, dalla più generale a le due particolari.

### Equazione con $x$ fissato

Questa formula definisce l'equazione dell'onda in un punto fisso.

$$f(\bar{x}, t) = A \cos \frac{2\pi}{T} t$$

### Equazione con $t$ fissato

Questa formula definisce l'equazione dell'onda ad un particolare istante.

$$f(x, \bar{t}) = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

### Equazione generale dell'onda

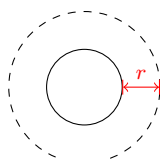
Queste sono le formule più generali dell'equazione dell'onda.

$$f(x, t) = A \cos \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (x \mp vt) \right] = A \cos 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \mp \frac{t}{T} \right)$$

La cosa più importante da notare è il segno. Se l'onda si propaga a *destra* si usi  $-$ , se verso *sinistra* si usi  $+$ .

## Equazione di Huygens

L'equazione di Huygens definisce il rapporto tra il raggio di propagazione di un'onda e il tempo. La seguente figura farà capire meglio.



$$r = \Delta t \cdot v$$

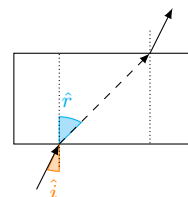
## Rifrazione

Questa sezione si occuperà della luce che attraversa due mezzi e si rifratta/riflette.

Per gli esercizi si vada [qui](#). Un concetto unico a questa sezione è quello dell'*indice di rifrazione*. Ce ne sono di 2 tipi: *assoluto* relativo solo alle onde elettromagnetiche e *relativo*. Per calcolare quello relativo si usi:

$$n_{2,1} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Qui introduciamo anche due simboli:  $\hat{i}$  e  $\hat{r}$ . Il primo ( $\hat{i}$ ) indica l'angolo di *incidenza* con il secondo mezzo e  $\hat{r}$  l'angolo di *rifrazione*. Per capire meglio, si faccia riferimento alla seguente figura:

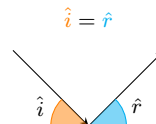


Si tenga conto che questa immagine si riferisce al fenomeno della *rifrazione* che ha queste caratteristiche:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c}{v_2}$$

Da notare che  $\frac{c}{v_2}$  vale solo se la luce arriva dal vuoto.

Se invece ci troviamo in un caso di *riflessione* ha questa proprietà:

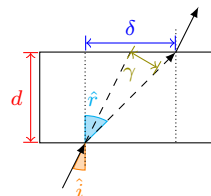


### Relazione di Snell

La relazione di Snell mette appunto in relazione gli indici di rifrazione con gli angoli  $\hat{i}$  e  $\hat{r}$ .

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}}$$

### Distanza di Rifrazione



$$\delta = \frac{d \sin(\hat{i} - \hat{r})}{\cos \hat{r}}$$

$$\gamma = d \tan \hat{r}$$

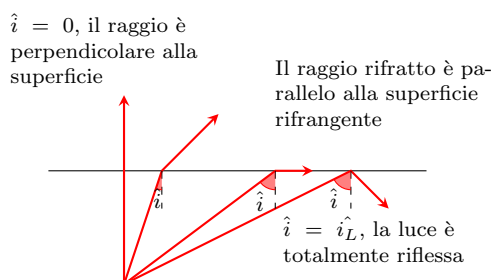
## Angolo limite

L'angolo limite è quell'angolo che segna se si tratta di un fenomeno di rifrazione o di riflessione.

$$\hat{\alpha}_l = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

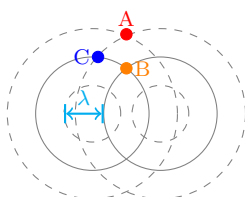
Se viene superato l'angolo limite avviene il fenomeno di rifrazione assoluta.

## Immagine riassuntiva



## Interferenza

Il fenomeno dell'interferenza avviene quando due fonti distinte emettono onde e queste impattano fra loro. Il seguente disegno aiuterà a spiegare il fenomeno. Per gli esercizi si vada [qui](#).



In questa immagine sono stati segnati 3 punti. Nel punto **A** e nel punto **B** si ha un'interferenza **costruttiva** in quando due tipi uguali di onde si incontrano. Nel punto **C** si ha un'interferenza **distruttiva** in quando due tipi di onde diversi si incontrano.

### Interferenza Costruttiva

$$|\overline{PS}_1 - \overline{PS}_2| = k\lambda$$

$\overline{PS}$ : distanza tra l'origine dell'onda e il punto  $P$   
 $k$ :  $k \in \mathbb{Z}$  indica il numero dell'interferenza che interessa, ovvero il numero dell'onda

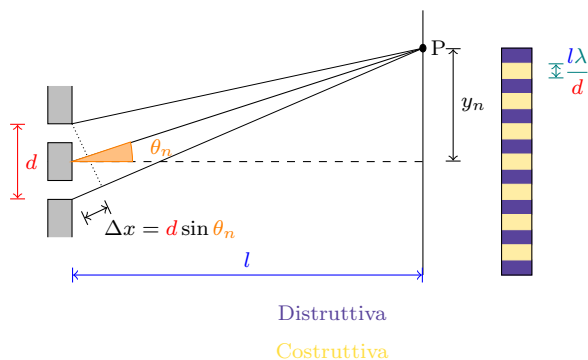
### Interferenza Distruttiva

$$|\overline{PS}_1 - \overline{PS}_2| = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$\overline{PS}$ : distanza tra l'origine dell'onda e il punto  $P$   
 $k$ :  $k \in \mathbb{Z}$  indica il numero dell'interferenza che interessa, ovvero il numero dell'onda

## Esperienza di Young

Young studiava la luce. Il suo esperimento dimostra la natura ondulatoria della luce. Di seguito viene riportato un diagramma che rappresenta semplicemente la sua struttura.



La barra a destra fa vedere l'alternarsi di zone chiare e scure. Ciascuna di quelle zone è definita *frangia*. Per gli esercizi si vada [qui](#).

### Altezza dell'n-esima frangia

La seguente formula trova l'altezza di una qualsiasi frangia.

$$y_n = l \tan \theta_n$$

Le prossime due invece trovano l'n-esima frangia costruttiva ( $C$ ) o distruttiva ( $D$ ).

$$y_{n_C} = \frac{l \cdot n \cdot \lambda}{d}$$

$$y_{n_D} = \frac{l \cdot (2n + 1) \cdot \lambda}{2d}$$

### Angolo dell'n-esima frangia

Se la frangia è costruttiva

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d}$$

Se è distruttiva

$$\sin \theta_n = \left( n - \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{d}$$

### Differenza di percorso tra i due fori

Nel grafico identificata come  $\Delta x$

$$\Delta x = d \sin \theta_n$$

Se l'angolo è riferito ad una frangia costruttiva è anche

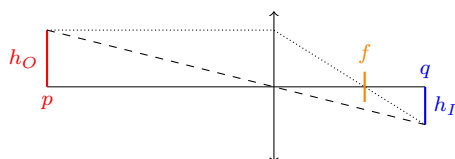
$$\Delta x = n\lambda$$

Se l'angolo è riferito ad una frangia distruttiva è anche

$$\Delta x = (2n + 1)\lambda$$

## Lenti e Specchi

Nonostante le lenti abbiano in definitiva 3 formule totali, meritano una sottosezione a sè in quanto può non essere sempre immediato identificare oggetti ed immagini. Il disegno sotto aiuterà a capire.



Da quest'immagine possiamo capire due caratteristiche fondamentali:

- Una linea perpendicolare alla lente viene deviata in modo che passerà per il fuoco;
- Una linea passante per il centro della lente continuerà il suo percorso senza deviazioni;

Questo ci porta alle formule fondamentali.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

Gli specchi funzionano nello stesso modo delle lenti, quindi si possono accorpate in questa sottosezione.

Per lenti sottili, si considera la convenzione che la distanza focale  $f > 0$  per lenti convergenti e  $f < 0$  per lenti divergenti. La distanza dell'oggetto  $p$  è sempre positiva e la distanza dell'immagine è positiva quando  $q$  è dall'altro lato della lente.

Un'immagine virtuale ha  $q < 0$ . L'ingrandimento è positivo per un'immagine dritta e negativo per una rovesciata.

### Equazione generale

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

### Ingrandimento

$$G = \frac{h_I}{h_O} = -\frac{q}{p}$$

### Diottria

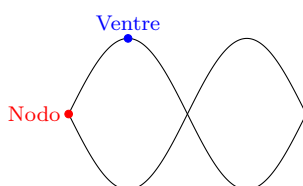
$$D = \frac{1}{f}$$

### Lenti attaccate

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

## Onde Stazionarie

Si possono riscontrare onde stazionarie quando due onde siano sincrone ma con versi opposti. Il risultato è il seguente



Per le onde stazionarie, vengono definiti *nodi* i punti in cui l'ampiezza è 0, *ventri* quelli in cui l'ampiezza è massima. Si definisce  $n$  il numero di ventri che esistono nell'onda.

Per trovare la posizione di un nodo o di un ventre si usi

$$\text{Nodo: } x = \frac{\lambda}{4} + (k+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\text{Ventre: } x = (k+1)\frac{\lambda}{2}$$

dove  $k$  identifica il numero del ventre o nodo desiderato.

### Equazione dell'onda stazionaria

$$y = A \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

### Lunghezza dell'onda

La lunghezza dell'onda è determinata da  $n$  e dalla lunghezza d'onda.

$$L = n \frac{\lambda_n}{2}$$

Dove  $\lambda_n$  è definita come

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

### Frequenza del ventre

$$f_n = \frac{n}{2L} v$$

$v$ : velocità (che può essere espressa come  $\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ )

## Suono

Il suono è un'onda meccanica, quindi rientra in questa sezione. Il suono si propaga in forma sferica da un punto.

Per gli esercizi, si vada [qui](#).

### Intensità

L'intensità indica quanto forte è un suono.

Dato che il suono si propaga in forma sferica,  $S = 4\pi r$  dove  $r$  indica la distanza dell'uditore dalla sorgente.

$$I = \frac{E}{St} = \frac{P}{S}$$

$E$ : energia

$P$ : potenza, solitamente espressa in  $W$

Il prodotto dell'intensità per il raggio al quadrato rimane costante nel tempo:

$$I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2$$

## Livello sonoro

Il livello sonoro indica quanto forte un suono appare all'udito umano. La sua unità di misura è il *decibel* (*dB*).

$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$I_0$ :  $10^{-12} \text{ W/m}^2$

## Effetto Doppler

L'effetto Doppler è un effetto che tutti quanti conoscono (un'ambulanza che emette un suono diverso in base alla sua velocità relativa rispetto all'uditore) e che mette in relazione la frequenza del suono e la velocità dei due corpi (uditore e sorgente).

La cosa più complicata dell'effetto Doppler sono i segni. Questa è la formula più generale

$$f_O = f_S \frac{v \pm v_U}{v \mp v_S}$$

$v$ : 343 m/s

$U$ : uditore

$S$ : sorgente

Come si nota, al numeratore e al denominatore si invertono i segni. Questa tabella aiuterà a far capire come scegliere.

Uditore	Avvicina	+
	Allontana	-
Sorgente	Avvicina	-
	Allontana	+

La formula vale anche quando entrambi i corpi sono in movimento. Se l'uditore o la sorgente sono fermi rispettivamente  $v_U$  e  $v_S$  sono pari a 0.

## Battimenti

I battimenti sono un fenomeno che si verifica quando due sorgenti vibrano a frequenze molto simili, quindi  $f_1 \approx f_2$ . Se questa condizione non è presente, non è un battimento. Un tipico esempio è un diapason che comincia a vibrare quando si canta alla giusta tonalità.

$$f_B = |f_1 - f_2|$$

## Elettrostatica

L'Elettrostatica studia le cariche elettriche nei corpi e come reagiscono fra di loro.

Un concetto fondamentale è quello di **carica**. La carica (identificata con  $Q$ ) è determinata dalla somma di tutte le cariche degli elettroni all'interno di ogni corpo. La sua unità di misura è il *Coulomb* ( $C$ ).

Si noti che nelle seguenti formule,  $\varepsilon$  è definito come  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$  dove  $\varepsilon_0$  è la **costante dielettrica nel vuoto** e  $\varepsilon_r$  è la costante dielettrica nel mezzo (nel vuoto è 0).

Per gli esercizi si vada [qui](#).

## Legge di Coulomb

Attraverso la legge di Coulomb (da non essere confusa con il teorema di Coulomb) si trova la forza che intercorre tra due corpi carichi. Si noti che questa formula può essere usata solo se i corpi sono puntiformi e fermi.

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k_0 \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$k_0$ :  $9.11 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

## Campo elettrico

Il campo elettrico è generato da una carica. Esso è un campo vettoriale, ciò significa che ad ogni suo punto si associa un vettore.

Il campo elettrico può essere uniforme, ovvero a tutti i punti si associa un vettore uguale.

Verranno ora riportate tutte le formule che permettono di trovare o il modulo o il vettore di un campo elettrico.

$$E = k_0 \frac{Q}{r^2}$$

Solo se puntiforme

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$\vec{E} = \sum_{i=0}^n \vec{E}_n$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

Se in un condensatore, si divida solo per  $\varepsilon$

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$$

$$E = \frac{|\sigma|}{\varepsilon_0}$$

Se è una superficie piana

$k_0$ :  $9.11 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

$\sigma$ : densità di carica  $\left(\frac{Q}{A}\right)$

$\Delta V$ : d.d.p

$\Delta x$ : distanza tra le superfici

## Teorema di Coulomb

Il teorema di Coulomb definisce il campo elettrico per una qualsiasi superficie *piana*.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

## Flusso

Il flusso ( $\Phi$ ) è la quantità di carica generata da un campo elettrico ( $\vec{E}$ ), che attraversa una superficie ( $\vec{S}$ ).

Verranno ora riportate le formule per calcolare il flusso di una superficie.

$$\Phi_i(\vec{E}) = \vec{E}_i \cdot \vec{S}_i$$

$$\Phi_S(\vec{E}) = \sum_{i=0}^n \Phi_{S_i}(\vec{E}_i)$$

$$\Phi_S(\vec{E}) = \sum_{i=0}^n \vec{E}_i \cdot \vec{S}_i$$

$$\Phi_{SCH}(\vec{E}) = \frac{\sum_{i=0}^n Q_i}{\varepsilon}$$

$$\Phi_S(\vec{E}) = E \cdot S \cos \theta$$

Se  $S$  è piana e  $E$  uniforme

## Teorema di Gauss

Il teorema di Gauss definisce il flusso di una superficie *chiusa*.

$$\Phi_{SCH}(\vec{E}) = \frac{\sum_{i=0}^n Q_i}{\varepsilon}$$

## Lavoro di un campo elettrico

Quanto lavoro deve fare un campo elettrico per spostare una carica? Questa sottosezione è dedicata proprio a questo.

$$\begin{aligned} L &= \Delta U && \text{Se riferito ad un campo elettrico} \\ L &= -\Delta U && \text{Se riferito ad una carica} \\ L &= q[V_A - V_B] \end{aligned}$$

Al lavoro sono direttamente collegati l'**energia potenziale elettrica** ( $U$ ) e il **potenziale elettrico** ( $V$ ). Molto similmente alle energie gravitazionali, queste due sono molto importanti. Vengono ora riportate le formule per calcolarle.

$$U = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r} \quad V = k_0 \frac{Q}{r}$$

$k_0$ :  $9.11 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

## Lavoro di una carica in un condensatore

Il lavoro di una carica è equivalente all'energia interna.

$$L = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

## Capacità elettrica

La capacità elettrica indica quanta carica può immagazzinare un conduttore isolato. Verranno ora riportate le formule per calcolarla.

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q}{V} && \text{Anche in un condensatore} \\ C &= 4\pi\varepsilon && \text{In una sfera isolata} \\ C &= \frac{S\varepsilon}{d} && \text{In un condensatore piano} \end{aligned}$$

Nell'ultima formula,  $d$  indica la distanza tra le due armature di un condensatore.

## Circuitazione

La circuitazione ( $C$ ) indica quanta carica passa per una linea chiusa ( $\Gamma$ ).

$$C_{\Gamma}(\vec{E}) = \sum_{i=0}^n \vec{E}_i \cdot \vec{l}_i = \sum_{i=0}^n E_i \cdot l_i \cos \theta$$

$l$ : differenza di spostamento

Si noti che *theta* è rispetto alla tangente, non alla normale come nel [Flusso](#).

## Dielettrico all'interno di un condensatore

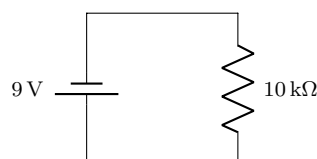
Come cambia il campo elettrico all'interno di un condensatore se si inserisce un dielettrico?

$$E_{RIS} = \frac{\sigma \cdot \sigma_p}{\varepsilon}$$

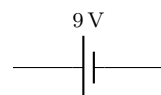
## Circuiti elettrici

Questa sezione è strettamente legata alla precedente ma, vista l'importanza ne merita una sua.

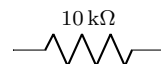
I circuiti elettrici sono usati ovunque nel mondo d'oggi e hanno una simbologia tutta loro. Di seguito viene riportato un circuito elementare.



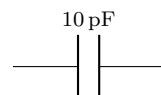
Questo circuito non ha una funzione in quanto è composto solo da una batteria



ed una resistenza



L'ultimo simbolo che verrà frequentemente usato è quello del condensatore



Per gli esercizi, si vada [qui](#).

## Corrente elettrica

La corrente elettrica ( $i$ ) è equivalente alla ddp nei non-conduttori e alla quantità di cariche libere altrimenti.

In pratica indica quante cariche si muovono all'interno di un corpo conduttore.

## Collegamenti

Ci sono 2 tipi di collegamenti: **in serie** ed **in parallelo**.

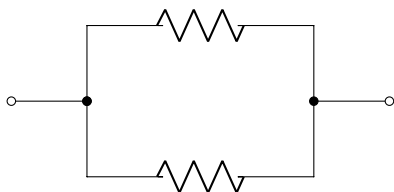
Se due componenti sono in serie, la stessa corrente  $i$  li attraversa e sono posti uno dietro l'altro. Se sono in parallelo invece la corrente si divide.

### In serie





### In parallelo



### Condensatori

Un condensatore è composto da due *armature* che hanno cariche di segno opposto, una positiva e l'altra negativa. Il compito di un condensatore all'interno di un circuito è di immagazzinare carica e rilasciarla in un attimo. Viene usato ad esempio nei flash delle macchine fotografiche dove viene rilasciata in un attimo la carica immagazzinata in un certo tempo.

La loro unità di misura è il Farad (F).

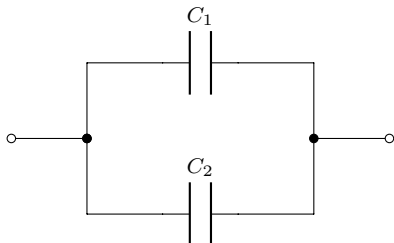
### Capacità equivalente di condensatori in serie



Questo "circuito" può essere ridotto ad un solo condensatore la cui capacità deve essere

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

### Capacità equivalente di condensatori in parallelo



Questo "circuito" può essere ridotto ad un solo condensatore la cui capacità deve essere

$$C_e = C_1 + C_2$$

### Proprietà di condensatori in serie ed in parallelo

Una caratteristica di questi due collegamenti è quello che rimane costante tra i condensatori.

Due condensatori **in serie** mantengono la stessa  $Q$ .

Due condensatori **in parallelo** mantengono la stessa ddp ( $\Delta V$ ).

### Resistenze

Le resistenze servono appunto a opporre resistenza alla corrente elettrica. Permettono di collegare componenti con una tensione di rendimento bassa a circuiti che ne forniscono una alta.

La loro unità di misura è l'Ohm ( $\Omega$ ).

### Leggi di Ohm

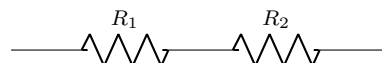
Le leggi di Ohm mettono in relazione ddp e resistenza, e le caratteristiche fisiche di una resistenza.

$$R = \frac{\Delta V}{i} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

La prima mette in relazione la ddp e la corrente con la resistenza.

La seconda mette in relazione la resistività ( $\rho$ ), la lunghezza del corpo ( $l$ ) e la sezione ( $S$ ) con la resistenza.

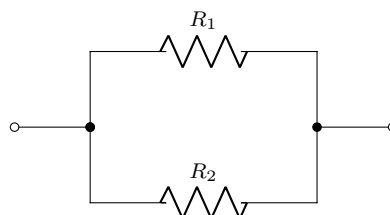
### Capacità equivalente di resistenze in serie



Questo "circuito" può essere ridotto ad un solo condensatore la cui capacità deve essere

$$R_e = R_1 + R_2$$

### Capacità equivalente di resistenze in parallelo



Questo "circuito" può essere ridotto ad una sola resistenza la cui capacità deve essere

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Vige anche questa proprietà:

$$R_1 i_1 = R_2 i_2$$

### Proprietà di condensatori in serie ed in parallelo

Una caratteristica di questi due collegamenti è quello che rimane costante tra le resistenze.

Due resistenze **in serie** mantengono la stessa  $i$ .

Due resistenze **in parallelo** mantengono la stessa ddp ( $\Delta V$ ).

### Tabella riassuntiva delle formule

	Serie	Parallelo
Condensatori	$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$C_e = C_1 + C_2$
Resistenze	$R_e = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

## Generatori

I generatori generano, abbastanza logicamente, corrente elettrica. Ce ne sono di due tipi: *Ideali* e *Reali*. L'unica differenza è che i generatori ideali non hanno resistenza interna.

### Forza elettromotrice

$$\mathcal{E} = \overbrace{iR}^{\Delta V} + \underbrace{ir}_{\text{caduta di tensione}}$$

$R$ : resistenza

Si noti che la forza elettromotrice è anche equivalente alla d.d.p. che attraversa la batteria.

### Potenza elettrica

$$P = Vi$$

Se per conduttori ohmici

$$P = iR^2 = \frac{V^2}{R}$$

## Magnetismo

Il magnetismo si occupa di come i magneti interagiscano fra di loro e con i corpi circostanti. Il campo magnetico ( $\vec{B}$ ) è quello che influenza i corpi al suo interno. La sua direzione è sempre dal polo NORD a quello SUD.

La sua unità di misura è il *Tesla* ( $T = \frac{N}{Am}$ )

Può essere definito in due modi, prenderemo in considerazione quello più usato in ambito liceale.

Per gli esercizi si vada [qui](#).

### Forza in un campo magnetico

$$\vec{F} = i \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

Si ricordi che  $\times$  indica il [prodotto vettoriale](#) tra due vettori.  $\vec{l}$  è un vettore che rappresenta un filo che attraversa il campo magnetico.  $i$ : corrente

### Legge di Biot-Savart

La legge di Biot-Savart definisce un campo magnetico generato da un filo rettilineo percorso da una corrente.

La direzione è la tangente alla linea di forza generata dal filo, il verso è antiorario se la corrente esce, orario altrimenti.

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{d}$$

$\mu_0$ :  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$

$i$ : corrente

$d$ : distanza dal filo

## Legge di Ampère

La legge di Ampère descrive la forza che intercorre tra due fili paralleli attraversati da una corrente.

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{d} l$$

$\mu_0$ :  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$

$i$ : corrente

$d$ : distanza tra i due fili

Molto spesso si vuole definire la forza su di una certa dimensione del filo, quindi si ottiene la formula in questa forma:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{d}$$

La formula calcola il modulo del vettore. La forza è attrattiva se i versi delle correnti sono uguali, repulsiva altrimenti.

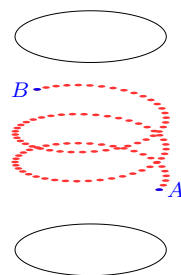
## Forza di Lorentz

La forza di Lorentz è la forza che una carica risente all'interno di un campo magnetico.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Si presti attenzione al verso di questa forza. Se la carica è *positiva* si usi la solita regola della mano, altrimenti si inverte semplicemente il verso.

Una particolarità è che una carica che entra in un campo magnetico viene deviata dal suo percorso. Il moto che ne deriva è *elicoidale*. Ovviamente questo nel caso più generale, il disegno di seguito aiuterà a capire in che modo l'elettrone viene spostato



Questa è una rappresentazione del moto di una carica all'interno del campo magnetico. Alcune formule permettono di trovare il *raggio*, *periodo* e il *passo* dell'elica.

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad T = \frac{m \cdot v_x}{q \cdot B}$$
$$\delta S = v_y \cdot T \quad F = m \frac{v^2}{r}$$

L'ultima formula di queste quattro trova la forza centripeta che mantiene la carica all'interno del moto. Questa è la forza di Lorentz (supposto che  $\vec{B} \perp \vec{v}$ ).

Sempre supposto che  $\vec{B} \perp \vec{v}$ , il periodo si può scrivere anche come

$$T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}$$

## Selettore di velocità

Il selettore di velocità è un particolare dispositivo che permette di "selezionare" alcune cariche che vanno solo ad una determinata velocità attraverso una fessura. Il loro utilizzo è molto ampio, specialmente in dispositivi come televisioni a tubo catodico.

Il loro funzionamento si basa su due campi  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  uniformi incrociati fra di loro.

Sulla carica deve agire una forza  $\vec{F}$  pari a

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Una carica passa nel selettore se e solo se la sua velocità è pari a

$$v = \frac{E}{B}$$

## Conduttori nei metalli

In questa sottosezione si trovano le formule per trovare la carica massima che può ottenere e la velocità di deriva degli elettroni.

### Carica massima

$$i = n \cdot A \cdot v_d \cdot e$$

<sup>e</sup>

$n$ : numero di elettroni di conduzione  $A$ : sezione del conduttore

### Velocità di deriva

$$v_d = \frac{i}{n \cdot A \cdot e}$$

<sup>e</sup>

$n$ : numero di elettroni di conduzione  $A$ : sezione del conduttore

## Esercizi

Questa sezione è dedicata ad alcuni esercizi con relativa risoluzione e spiegazione. Il suo scopo è quello di chiarire i concetti teorici con esempi pratici.

## Consigli

Ecco alcuni consigli che saranno utili nello svolgimento degli esercizi:

1. **Leggere più volte il problema;**
2. **Partire dalle formule generali.** Questo aiuterà a imparare le formule e ad applicarle. Le formule particolari sono generalmente derivate e alcune volte anche in casi particolari (alcune variabili pari a zero, masse uguali, ...);
3. **Guardare corpo per corpo le forze che interagiscono.** Andare per ordine e con calma è una garanzia per evitare di fare errori di calcolo o di teoria. Personalmente, una volta presa questa abitudine, ho di gran lunga ridotto il numero di errori di distrazione;

4. **Avere un sistema unico di risoluzione.** Abituarsi al proprio sistema, seguendo o meno questi consigli, aiuterà ad essere costanti e ad evitare errori di distrazione;

5. **Mettere tutti i dati in una "tabella".** Aiuta a visualizzare ciò che si ha e capire come ottenere ciò che serve;

6. **Scrivere le formule utilizzabili.** Assieme al punto precedente, aiuta ad avere un quadro generale di ciò che si va ad affrontare;

7. **Ricontrollare i conti a fine di ogni riga.** Nessuno è infallibile, è facile scambiare un segno o fare stupidi errori, ricontrollare scongiura la loro propagazione;

## Cinematica

### Moto Rettilineo Uniforme

**Esercizio 1** Un poliziotto sta inseguendo un fuggitivo su una strada rettilinea. La velocità del fuggitivo è costante a  $v_f = 120$  km/h e il poliziotto è a distanza  $d = 500$  m e ha velocità pari a  $v_p = 180$  km/h. Qual è la **velocità relativa** del poliziotto rispetto al fuggitivo? Quanto **tempo** ci vuole perché lo raggiunga?

La velocità relativa è molto semplicemente la differenza tra le velocità.

$$v_r = v_p - v_f \rightarrow v_r = 180 - 120 = \boxed{60 \text{ km/h}}$$

Per trovare quando i due individui si incontrano basta mettere a sistema le loro due equazioni della posizione

$$\begin{cases} x = x_0 + v_f t \\ x = v_p t \end{cases} \rightarrow 180t = 120t + 500 \rightarrow t = \frac{50}{6} = \boxed{8.3 \text{ s}}$$

### Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato

**Esercizio 1** Un corpo cade liberamente fino a terra che si trova ad una distanza  $h$ . Sapendo che nell'ultimo secondo di volo percorre una distanza pari a  $\frac{h}{2}$ , **quanto vale  $h$ ?**

Dalla formula del MRUA  $v^2 = v_0^2 + 2ay$ , possiamo sostituire le informazioni che abbiamo per trovare la velocità quando il corpo si trova a  $\frac{h}{2}$

$$v^2 = v_0^2 + 2ay \rightarrow v = \sqrt{gh}$$

Inserendo ora la velocità nell'equazione oraria possiamo ricavare  $h$

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow y = \sqrt{gh}t + \frac{1}{2}gt^2$$

e ora non resta che sostituire i dati

$$\begin{aligned} \frac{h}{2} &= \sqrt{9.81 \cdot h} + 9.81 \rightarrow h = 2\sqrt{9.81 \cdot h} + 9.81 \\ (h - 9.81)^2 &= 39.24h \rightarrow h^2 - 58.86h + 96.2361 = 0 \rightarrow \\ &\begin{cases} h_1 \approx 57 \text{ m} \\ h_2 \approx 1.7 \text{ m} \end{cases} \end{aligned}$$

Avendo due soluzioni, come scegliamo quella corretta? Sappiamo che il corpo vola per più di un secondo, quindi vediamo quanta distanza potrebbe percorrere quel corpo in un secondo

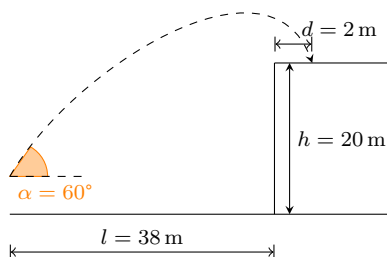
$$h = \frac{gt^2}{2} = 4.9 \text{ m}$$

Da questo è evidente che 1.7 m non può essere la nostra altezza in quanto è evidentemente inferiore alla distanza percorsa in un secondo. Di conseguenza

$$h = 57 \text{ m}$$

## Moto Parabolico

**Esercizio 1** Una pallina è lanciata a  $\alpha = 60^\circ$  rispetto l'orizzontale. Atterra ad una distanza  $d = 2 \text{ m}$  dal bordo di un tetto piatto che si trova ad una altezza  $h = 20 \text{ m}$ . La parete del tetto si trova ad una distanza  $l = 38 \text{ m}$  dal lanciatore. A che **velocità** è stata lanciata la pallina?



La distanza totale che la pallina percorre è  $x = l + d = 40 \text{ m}$ . Quindi il tempo passato prima dell'atterraggio è pari a

$$t = \frac{x}{v_{0x}} \rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} = \frac{2x}{v_0}$$

Avendo poi a mente l'equazione oraria

$$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

possiamo sostituire le informazioni conosciute

$$20 = \sin 60 v_0 \frac{2x}{v_0} - \frac{1}{2}g \frac{2x^2}{v_0^2} \rightarrow v_0 = \frac{\sqrt{31,360}}{49.3} = 25.2 \text{ m/s}$$

**Esercizio 2** Una pallina è lanciata verticalmente con una velocità  $v_y = 10 \text{ m/s}$  da un tetto ad altezza  $h = 20 \text{ m}$ . **Quanto tempo** passa prima che tocchi il terreno? **A quale velocità** lo colpirà?

Quanto tempo è facilmente individuabile. Prendiamo la formula oraria

$$y = y_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 \rightarrow y = y_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

Abbiamo tagliato le variabili che sono pari a 0 nel nostro caso. Isoliamo  $t$  e abbiamo

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

Stiamo però attenti. Questa formula presuppone che  $v_{0y} = 0$  e nel nostro caso non è così. Però  $v_{0y} = 0$  quando la pallina ha raggiunto l'altezza massima dopo il lancio e torna

a scendere. Infatti anche  $y$  non è solo 20 perché quando la pallina comincia a cadere ha già raggiunto una certa altezza. Troviamola

$$h_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} \rightarrow h_{max} = \frac{100}{2 \cdot 9.81} = 5 \text{ m}$$

Possiamo ora sostituire nella formula precedente per trovare il tempo

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot (20 + 5)}{9.81}} \approx 2 \text{ s}$$

La velocità è ricavabile dalla formula

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \rightarrow v = \sqrt{2gh} \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 25} \approx 22.41 \text{ m/s}$$

## Dinamica

### Funi, carrucole, piani inclinati e attrito

**Esercizio 1** Un corpo di massa  $2 \text{ kg}$  scivola lungo un piano inclinato liscio (senza attrito). Determina l'**accelerazione** con la quale si muove e il **tempo** che impiega a percorrere tutto il piano, sapendo che la lunghezza del piano è  $1 \text{ m}$  e la sua altezza è  $0.5 \text{ m}$ .

L'accelerazione è veramente semplice trovarla in quanto basta ricordarsi una formula:

$$a = g \sin \alpha \rightarrow a = 9.81 \cdot \sin 30^\circ = 9.81 \cdot 0.5 = 4.905 \text{ m/s}^2$$

Come sapevamo l'angolo? Essendo il piano inclinato l'ipotenusa, la trigonometria dice che perché l'altezza sia di  $0.5$  l'angolo deve essere di  $30^\circ$ .

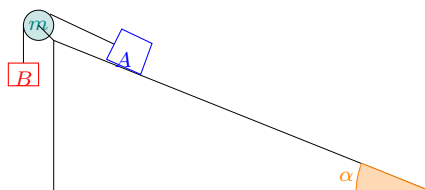
E ora, avendo l'accelerazione è un semplice esercizio di cinematica. Per prima cosa si trova la velocità finale usando una delle formule più utili di sempre

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta x \rightarrow v^2 = 0^2 + 2 \cdot 4.905 \cdot 1 = 9.81 \rightarrow v = \sqrt{v^2} = \sqrt{9.81} \approx 3.13 \text{ m/s}$$

e ora si trova il tempo

$$v = v_0 + at \rightarrow t = \frac{v - v_0}{a} \rightarrow t = \frac{3.13}{4.905} \approx 0.64 \text{ s}$$

**Esercizio 2** Un blocco A di massa  $M = 0.6 \text{ kg}$  si muove senza attrito su un piano inclinato di  $30^\circ$ . Mediante una fune priva di massa, il blocco A è connesso ad un blocco B di  $22.0 \text{ kg}$  come mostrato in figura. La carrucola ha massa trascurabile e si muove senza attrito. Determina l'**accelerazione** di ciascun blocco e la **tensione** della corda.



Si trova l'accelerazione molto rapidamente mediante l'uso di una singola formula:

$$a = \frac{m_B g - m_A \sin \alpha}{m_A + m_B} \rightarrow a = \frac{22 \cdot 9.81 - 8 \cdot 9.81 \cdot \sin 30^\circ}{22 + 8} \rightarrow$$

$$a = \frac{215.82 - 39.24}{31} \rightarrow \frac{176.58}{31} \approx \boxed{5.69 \text{ m/s}^2}$$

Per la tensione la questione è un po' più particolare. La tensione rappresenta la risultante tra la forza che tira da ciascuna parte. Quindi, per prima cosa troviamole

$$F_A = m_A \sin \alpha \rightarrow F_A = 8 \cdot 9.81 \sin 30^\circ = \underline{39.24 \text{ N}}$$

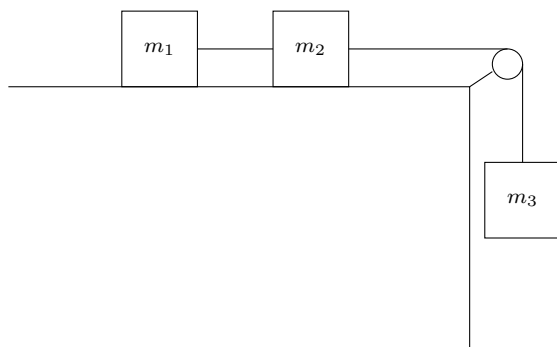
$$F_B = m_B g \rightarrow F_B = 22 \cdot 9.81 = \underline{215.82 \text{ N}}$$

Ora per trovare la tensione vediamo che il blocco che "tira" è il blocco B. Quindi

$$T = \frac{F_B - F_A}{2} \rightarrow T = \frac{215.82 - 39.24}{2} = \boxed{88.29 \text{ N}}$$

Da notare che si divide per due in quanto la tensione che troviamo è da entrambe le parti, a noi interessa solo una.

**Esercizio 3** Considera il sistema di blocchi  $m_1 = 80.0 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 90 \text{ kg}$  tirati da una massa  $m_3 = 60 \text{ kg}$ . Se il coefficiente di attrito dinamico tra le superfici dei blocchi e il binario orizzontale vale  $\mu_d = 0.3$ , determina l'accelerazione del sistema e le tensioni dei fili.



Per risolvere questo tipo di esercizi, bisogna essere metodici. Per prima cosa troviamo la forza peso di  $m_3$  che è anche l'unica forza che agisce direttamente.

$$P = m \cdot g \rightarrow P = 60 \cdot 9.81 = \underline{588.6 \text{ N}}$$

Ora noi utilizzeremo la definizione di forza per calcolare l'accelerazione. Quindi dobbiamo vedere la forza che agisce direttamente sul sistema. Per ora abbiamo calcolato  $P$ , però in contrasto ci sono anche le forze di attrito. Calcoliamole.

$$F_{a1} = P_1 \cdot \mu_d \rightarrow F_{a1} = 80 \cdot 9.81 \cdot 0.3 = \underline{235.44 \text{ N}}$$

$$F_{a2} = P_2 \cdot \mu_d \rightarrow F_{a2} = 90 \cdot 9.81 \cdot 0.3 = \underline{264.87 \text{ N}}$$

E ora possiamo trovarci la forza che agisce sul sistema. Dato che le forze di attrito contrastano la forza peso, si tolgono da quest'ultima.

$$F = \sum F \rightarrow F = P - F_{a1} - F_{a2} \rightarrow$$

$$F = 588.6 - 235.44 - 264.87 = \underline{88.29 \text{ N}}$$

E infine sfruttando la definizione di forza, possiamo ricavare l'accelerazione.

$$F = ma \rightarrow a = \frac{F}{m} \rightarrow a = \frac{88.29}{80 + 90 + 60} \approx \boxed{0.38 \text{ m/s}^2}$$

Per le tensioni possiamo immediatamente trovare  $T_1$  in quanto è l'unica che agisce su  $m_1$  che è isolato.

$$T_1 = a \cdot m_1 \rightarrow T_1 = 0.38 \cdot 80 = \boxed{30.4 \text{ N}}$$

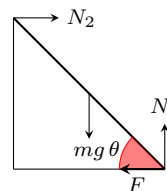
E questo è la prima, la seconda invece richiede un attimo di attenzione. Su  $m_2$  agiscono sia  $T_1$  che  $T_2$ . Dato che sappiamo che il sistema non è in equilibrio (è presente un'accelerazione), sappiamo anche che le  $T_2 - T_1 = m_2 \cdot a$  in quanto sul corpo  $m_2$  è presente l'accelerazione e agiscono le due tensioni.

$$T_2 - T_1 = m_2 \cdot a \rightarrow T_2 = T_1 + m_2 \cdot a \rightarrow$$

$$T_2 = 30.4 + 90 \cdot 0.38 = \boxed{64.6 \text{ N}}$$

**Esercizio 4** Una scala uniforme è appoggiata al muro, formando un angolo  $\theta$  con il pavimento. Il coefficiente di attrito tra la scala e il pavimento è  $\mu$ . Trova in funzione di  $\mu$  l'angolo minimo  $\theta_m$  in cui la scala non scivola.

Disegnando la situazione con anche le forze in gioco risulta



Quindi siano  $N_1$  e  $N_2$  le forze di reazione contro la scala e  $F$  la forza di attrito che tiene su la scala. Diciamo che la scala è lunga  $L$  e ha massa  $m$ . Allora la condizione di equilibrio è data da

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

quindi

$$\begin{cases} N_2 - F = 0 \\ N_1 - mg = 0 \end{cases}$$

Scegliamo ora un punto di riferimento: il punto di contatto tra la scala e il pavimento. Decidiamo poi che se una forza si allontana dal muro è negativa. Quindi le forze che agiscono in quel punto devono essere zero (per la condizione di equilibrio). Quindi

Questo perché la massa si trova nel baricentro (o centro di massa)

$$-LN_2 \sin \theta + \overbrace{\frac{L}{2}}^{\text{baricentro}} mg \cos \theta = 0$$

che semplificato diventa

$$N_2 \tan \theta = \frac{1}{2} mg$$

Utilizzando la prima equazione del sistema, possiamo quindi dire che

$$\frac{1}{2} mg \tan \theta = F$$

L'equilibrio è possibile fintanto che  $F \leq N_1 \mu$ . Usando la seconda equazione viene che

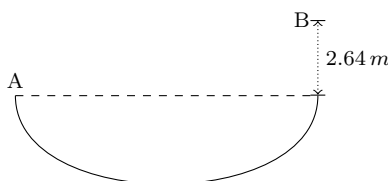
$$N_1 \mu = mg \mu$$

quindi l'equilibrio necessita che  $\tan \theta \leq \frac{1}{2} \mu$  e quindi

$$\boxed{\theta_m = \arctan \frac{1}{2} \mu}$$

## Lavoro, Energia e Potenza

**Esercizio 1** Un ragazzo su uno skateboard parte nel punto A rappresentato in figura, e sale fino ad un'altezza di 2.64 m al di sopra dell'estremità della rampa nel punto B. Qual era il modulo della **velocità** iniziale del ragazzo nel punto A?



Siamo in un caso di sistema conservativo e quindi possiamo sfruttare la formula  $U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2}$ . Sfruttando questa caratteristica possiamo semplicemente risolvere.

$$U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2} \rightarrow mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

Ora però, prima di passare ai calcoli, possiamo subito semplificare la formula in quanto sappiamo che nel secondo momento il ragazzo si ferma quando raggiunge i 2.64 m. Quindi semplifichiamola.

$$\begin{aligned} mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 &= mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \\ mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 &= mgh_2 + \frac{1}{2}m\cancel{v_2^2} \rightarrow \\ \cancel{m}gh_1 + \frac{1}{2}\cancel{m}v_1^2 &= \cancel{m}gh_2 \rightarrow gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = gh_2 \end{aligned}$$

Abbiamo anche cancellato la  $m$  in quanto è costante a tutti gli elementi.

Ora possiamo sostituire a  $h_2$  il suo valore effettivo, ovvero  $h_1 + 2.64$ . Questo perché non sappiamo a che altezza parte ma sappiamo che la supera di 2.64 m.

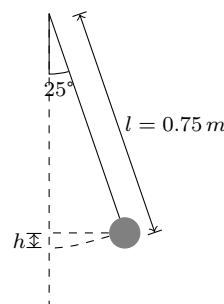
$$\begin{aligned} gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 &= gh_2 \rightarrow gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = g(h_1 + .64) \\ gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 &= gh_1 + g \cdot 2.64 \end{aligned}$$

E ora non ci resta che isolare  $v$ .

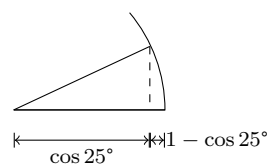
$$\begin{aligned} gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 &= gh_1 + g \cdot 2.64 \rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 = \cancel{gh_1} + g \cdot 2.64 - \cancel{gh_1} \rightarrow \\ v_1^2 &= 9.81 \cdot 2.64 \cdot 2 \rightarrow \\ v_1 &= \sqrt{9.81 \cdot 2.64 \cdot 2} = \sqrt{51.8} \approx \boxed{7.2 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

**Esercizio 2** Un pendolo semplice ha la lunghezza di .75 m e una pallina con una massa d 0.15 kg. La pallina viene lasciata andare quando il filo forma un angolo di 25° rispetto alla verticale.

- **Dimostra** che l'altezza da cui la pallina del pendolo viene lasciata andare è  $h = l \cdot (1 - \cos 25^\circ)$
- Qual è l'**energia cinetica** del pendolo quando, durante l'oscillazione, il filo forma un angolo di 9.0°?
- Qual è la **velocità** del pendolo nel punto più basso della sua oscillazione?



Dimostrare il primo punto è estremamente semplice e richiede solo nozioni di trigonometria. Il successivo disegno aiuterà a chiarire:



Come si può vedere, la lunghezza  $1 - \cos 25^\circ$  è il nostro  $h$ . Quindi perché moltiplicarla per  $l$ ? Perché la lunghezza della corda non è quella della circonferenza goniometrica ( $0.75 \neq 1$ ).

Avendo quindi chiarito il primo punto, possiamo concentrarci sul secondo.

Per prima cosa, ricordando la formula per l'energia cinetica ( $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ ) notiamo che ci manca solo la velocità. Come trovarla? Utilizzando la solita formula  $U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2}$ .

$$U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2} \rightarrow mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

Prima di proseguire i calcoli, possiamo subito eliminare due dei quattro elementi.

$$\begin{aligned} mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 &= mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \\ mgh_1 + \frac{1}{2}m\cancel{v_1^2} &= \cancel{mgh_2} + \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \\ \cancel{m}gh_1 &= \frac{1}{2}\cancel{m}v_2^2 \end{aligned}$$

Possiamo ora trovarci la velocità. Non serve neanche facciamo la radice quadrata in quanto dopo comunque lo ri-eleveremo al quadrato.

$$\begin{aligned} gh_1 &= \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow \\ v_2^2 &= 2 \cdot 9.81 \cdot (1 - \cos 25^\circ) \cdot 0.75 = \underline{13.3416 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

E ora troviamo l'energia cinetica

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot 0.15 \cdot 13.3416 = \boxed{1 \text{ J}}$$

Ora manca solo l'ultimo punto. La teoria è molto simile alla prima parte, in definitiva cambia solo l'altezza.

$$\begin{aligned} mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 &= mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \\ mgh_1 + \frac{1}{2}m\cancel{v_1^2} &= \cancel{mgh_2} + \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \\ \cancel{m}gh_1 &= \frac{1}{2}\cancel{m}v_2^2 \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.75} \approx \boxed{3.83 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

**Esercizio 3** Una gru solleva un peso di massa  $m = 500 \text{ kg}$  verticalmente a velocità costante  $v = 2 \text{ m/s}$ . Trova la **potenza spesa dal motore della gru**. Qual è il **lavoro** fatto dalla gru se solleva il peso di  $h = 20 \text{ m}$ ? Una seconda gru è capace di sollevare la stessa massa al doppio della velocità. Trova la potenza e il lavoro fatti dalla seconda gru alzando il peso della stessa altezza.

Il lavoro è definito come  $L = F \cdot S \cdot \cos \alpha$  e quindi sostituendo ciò che abbiamo

$$L = F \cdot S \cdot \cos \alpha \rightarrow L = 500 \cdot 9.81 \cdot 20 \cdot \cos 90 = \boxed{98100 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Per trovare la potenza abbiamo bisogno anche del tempo. Troviamolo

$$x = x_0 + vt \rightarrow 20 = 0 + 2t \rightarrow t = 10 \text{ s}$$

La potenza può essere trovata facilmente usando l'altra formula per il lavoro

$$P = \frac{L}{t} \rightarrow P = \frac{98100}{10} = \boxed{9800 \text{ W}}$$

Per l'ultimo punto, dato che abbiamo una forza costante che agisce, possiamo usare la seguente formula

$$P = Fv \rightarrow P = mav \rightarrow 500 \cdot 9.81 \cdot 4 = \boxed{19620 \text{ W}}$$

La formula si ricava da  $\frac{F \cdot S}{t} \rightarrow Fv$ .

Il lavoro lo si trova esattamente come prima

$$L = F \cdot S \cdot \cos \alpha \rightarrow L = 500 \cdot 9.81 \cdot 20 \cdot \cos 90 = \boxed{98100 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Notiamo allora che il lavoro rimane costante mentre la potenza raddoppia.

## Impulso

**Esercizio 1** Una barca e i suoi occupanti di massa  $M = 200 \text{ kg}$  contiene 10 sacchi di carbone ciascuno di  $5 \text{ kg}$ . La barca è stazionaria nella sua posizione. Gli occupanti cercano di raggiungere la riva lanciando fuori i sacchi di carbone ad una velocità orizzontale relativa  $v_r$ . Assumendo l'attrito nullo, **qual è la velocità dopo il primo sacco? E dopo il secondo?** Scrivi i risultati in termini di  $v_r$ .

Innanzitutto sappiamo che il sistema è conservativo in quanto non ci sono forze esterne. Detto questo, sappiamo anche che quindi  $q_1 = q_2$ . Prima di cominciare, sappiamo che il sistema ha massa  $200 + 5 \cdot 10$

Nel primo caso vediamo che la barca è ferma quindi sappiamo già che  $q_1 = 0$ . Quindi possiamo scrivere

$$0 = 245v - 5v_r \rightarrow v = \frac{5v_r}{245} = \boxed{\frac{1}{49}v_r}$$

245 perché nella situazione finale è che la barca ha perso una sacca ed essa sta volando. Sappiamo quindi la velocità nel primo caso.

Nel secondo caso, la barca ha già una sua velocità quindi scriviamo

$$\frac{1}{49}v_r = 240v + 5 \left( -v_r + \frac{1}{49}v_r \right)$$

Isoliamo  $v$  e otteniamo

$$\boxed{v \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}}$$

Abbiamo risolto il problema ma perché abbiamo scritto  $-v_r + \frac{1}{49}v_r$ ? Nella seconda situazione la barca ha già una velocità propria che è opposta a quella che ottiene il sacco lanciato. La situazione è simile a quella di un treno in corsa da cui si spara un proiettile in verso opposto. Ci stiamo spostando ad una velocità pari a  $\frac{1}{49}v_r$  e la sacca ha velocità in verso opposto pari a  $v_r$ .

## Urti

**Esercizio 1** Una mitragliatrice di massa  $30 \text{ kg}$  (comprendente quella dei proiettili) è installata a bordo di un carrello di massa  $100 \text{ kg}$  e spara verso sinistra una sventagliata di 10 proiettili ciascuno di massa  $30 \text{ g}$  con la velocità di  $60 \text{ m/s}$ . Quale **velocità** verso destra acquisterà il carrello?

Qui siamo in un caso in di urto elastico, quindi vige il principio di conservazione del moto. Di conseguenza la soluzione di quest'esercizio è estremamente semplice.

$$m_1v_1 = m_2v_2 \rightarrow 60 \cdot 0.30 = 129.7 \cdot v_2$$

Perché 129.7? Perché sappiamo che la mitragliatrice e il carrello pesano insieme  $100 + 30 = 130 \text{ Kg}$  ma sono stati sparati 10 colpi da  $0.03 \text{ Kg}$  l'uno, quindi il peso finale sarà  $130 - 10 \cdot 0.03 = 129.7 \text{ Kg}$ .

Ora non resta che risolvere semplicemente.

$$v_2 = \frac{60 \cdot 0.30}{129.7} \approx \boxed{0.139 \text{ m/s}}$$

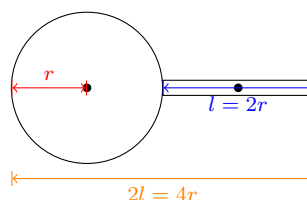
**Esercizio 2** Una pallottola di massa  $m = 10 \text{ g}$  colpisce alla velocità  $v_p = 280 \text{ m/s}$  un pendolo balistico di massa  $M = 2.0 \text{ Kg}$ , restando incorporata nel pendolo. Calcola l'**altezza**  $h$  di cui s'innalza il pendolo.

Questo esercizio è estremamente semplice in quanto siamo in una situazione di un proiettile contro un corpo e abbiamo tutti i dati necessari.

$$v_p = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh} \rightarrow h = \frac{v_p^2 m^2}{2g(M + m)^2} \rightarrow h = \frac{280^2 \cdot 0.01^2}{2 \cdot 9.81 \cdot (2 + 0.01)^2} \rightarrow h = \frac{7.84}{86.5242} = \boxed{0.09 \text{ m}}$$

## Centro di Massa

**Esercizio 1** Una racchetta da tennis può essere schematizzata in un cerchio di raggio  $r$  e massa  $m_1$  a cui è attaccato un bastone uniforme di lunghezza  $l$  e massa  $m_1$ . Ponendo  $r = l/2$  e  $m_1 = m_2$ , trova il **centro di massa** della racchetta. Viene poi aggiunta una massa  $m_3 = m_2/2$  nel punto più lontano dal bastone. Trova il **nuovo centro di massa**.



Sappiamo che in un corpo uniforme il centro di massa si trova nel baricentro. Nel caso del cerchio è nel centro stesso e nel caso del rettangolo è a metà della sua lunghezza. Dato

che abbiamo due possibilità, scegliamo di scrivere tutto in funzione di  $r$ . È generalmente meglio scegliere la variabile più "piccola" perché dona più flessibilità. Decidiamo anche di porre l'origine al manico della racchetta. A questo punto procediamo con i calcoli. Dal disegno vediamo già tutte le distanze

$$x = \frac{\sum xm}{\sum m} \rightarrow x = \frac{m \cdot r + m \cdot 3r}{2m} \rightarrow x = \frac{4rm}{2m} = \boxed{2r}$$

Il centro di massa si trova quindi all'attaccatura del manico. Aggiunta la nuova massa, aggiorniamo i calcoli

$$x = \frac{\sum xm}{\sum m} \rightarrow x = \frac{\frac{m}{2}4r + m \cdot r + m \cdot 3r}{2m + \frac{m}{2}} \rightarrow$$

$$x = \frac{7mr}{\frac{5}{2}m} \rightarrow x = \boxed{\frac{14}{5}r}$$

## Momento Angolare ed Inerzia

**Esercizio 1** Una penna di lunghezza 12 cm viene appoggiata in posizione verticale su un piano con attrito. Essa inizialmente ferma, cade ruotando attorno al punto di contatto con il piano. Calcola la **velocità lineare** della testa della penna e l'**accelerazione angolare** nell'istante dell'impatto con il piano.

Essendo un problema di dinamica in cui il sistema è conservativo, possiamo scrivere subito

$$U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2}$$

In questo modo possiamo anche subito eliminare due elementi. Sappiamo che parte da ferma e arriva ad essere ferma. Questo significa che all'inizio c'è solo energia potenziale, alla fine solo cinetica.

$$U_1 + E_{c1} = U_2 + E_{c2} \rightarrow U_1 + \cancel{E_{c1}} = \cancel{U_2} + E_{c2}$$

Quindi ora abbiamo un'equazione in cui possiamo cominciare a sostituire

$$U_1 = E_{c2} \rightarrow mgl = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Come mai  $\frac{l}{2}$  e non  $l$ ? Questo perché l'energia si concentra nel centro di massa che si trova a metà distanza tra la punta e la testa della penna. Ora possiamo sostituire a  $I$  l'inerzia di una barra che è equivalente a  $\frac{1}{12}ml^2 + m\frac{l^2}{4}$

$$\frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{12}ml^2 + m\frac{l^2}{4} \right) \omega^2 \rightarrow$$

$$\frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{3}ml^2 \right) \omega^2 \rightarrow$$

$$gl = \frac{1}{3}l\omega^2 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{3g}{l}} \rightarrow$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot 9.81}{0.12}} \approx \underline{15.6 \text{ rad/s}}$$

E ora non resta che trovare la velocità tangenziale avendo quella angolare

$$v = \omega r \rightarrow v = 15.6 \cdot 0.12 = \boxed{1.8 \text{ m/s}}$$

E ora è da trovare solo l'accelerazione angolare. Anche qui sfruttiamo la conservatività del sistema.

$$\frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2}ml^2\alpha \rightarrow \alpha = \frac{3g}{2l} \rightarrow \alpha = \frac{3 \cdot 9.81}{2 \cdot 0.12} = \boxed{122.6 \text{ rad/s}^2}$$

**Esercizio 2** Una ruota è costituita da un anello di spessore trascurabile di massa  $M = 20 \text{ kg}$ , sostenuto da raggi di massa trascurabile e di lunghezza  $R = 0.5 \text{ m}$ . Essa sta ruotando attorno al proprio asse alla frequenza di 5 Hz. Alla sua periferia viene accostata una piastra con la quale essa sviluppa una forza di 50 N tangente alla ruota. Determinare **quanti giri** deve compiere la ruota prima di fermarsi.

Per prima cosa identifichiamo che abbiamo un corpo che ruota e una forza che generano un momento. Quindi troviamo quanto vale la decelerazione causata da questa forza tangenziale

$$M = I\alpha \rightarrow -F_a r = mr^2\alpha \rightarrow \alpha = \frac{-F_a}{mr} \rightarrow$$

$$\alpha = -\frac{50}{20 \cdot 0.5} = \underline{-5 \text{ rad/s}^2}$$

Ora possiamo facilmente trovarci la velocità angolare così poi da poter usare la legge oraria

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{\frac{1}{f}} \rightarrow \omega = 2\pi f \rightarrow \omega = \underline{10\pi}$$

Per comodità per ora non approssimiamo. Ora se vogliamo usare la seguente legge oraria

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

dobbiamo trovare il tempo  $t$ .

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \rightarrow t = \frac{\omega - \omega_0}{\alpha} \rightarrow t = \frac{0 - 10\pi}{-5} = \underline{2\pi \text{ s}}$$

E ora abbiamo tutto ciò che ci serve.

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \rightarrow$$

$$\theta = \cancel{\theta_0} + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

Perché abbiamo cancellato quell'elemento? Beh, noi vogliamo sapere quanti giri, quindi partiamo da una posizione  $\theta_0 = 0$ . Continuiamo la risoluzione

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \rightarrow \theta = 10\pi \cdot 2\pi + \frac{1}{2} \cdot -5 \cdot 4\pi^2$$

$$\theta = 20\pi^2 - 5 \cdot 2\pi^2 \rightarrow \theta = 20\pi^2 - 10\pi^2 = 10\pi^2 \rightarrow$$

$$\theta = 10 \cdot 3.14^2 = \boxed{98.69 \text{ rad}}$$

Dato che ci vengono chiesti i giri, semplicemente dividiamo per  $2\pi$

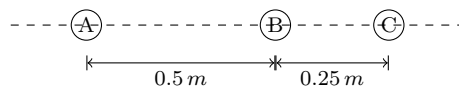
$$\text{giri} = \frac{98.69}{2\pi} = \boxed{15.7 \text{ giri}}$$

## Gravitazione

**Esercizio 1** La figura mostra tre corpi allineati che sono molto lontani da qualsiasi altro corpo. Le loro masse sono:

- $m_A = 363 \text{ kg}$
- $m_B = 517 \text{ kg}$
- $m_C = 154 \text{ kg}$

Determina **modulo**, **direzione** e **verso** della forza gravitazionale totale che agisce su ciascuno di essi.





Ricordando la formula della forza gravitazionale, possiamo semplicemente sommare i vettori forza fra di loro.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \rightarrow \begin{cases} F_{AB} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{363 \cdot 517}{0.5^2} \\ F_{AC} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{363 \cdot 154}{0.75^2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_{AB} = 5 \cdot 10^{-5} \\ F_{AC} = 6.62 \cdot 10^{-6} \end{cases} \rightarrow F = 5 \cdot 10^{-5} + 6.62 \cdot 10^{-6} = \boxed{5.62 \cdot 10^{-5} \text{ N}}$$

Questo era per il corpo A. Il procedimento è identico per il corpo C, cambia leggermente per il corpo B.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \rightarrow \begin{cases} F_{BA} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{517 \cdot 363}{0.5^2} \\ F_{BC} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{517 \cdot 154}{0.25^2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_{BA} = 5 \cdot 10^{-5} \\ F_{BC} = 8.5 \cdot 10^{-5} \end{cases} \rightarrow F = -5 \cdot 10^{-5} + 8.5 \cdot 10^{-5} = \boxed{3.5 \cdot 10^{-5} \text{ N}}$$

La differenza principale sta in quel  $-$  nell'ultimo passaggio. Questo perché la forza gravitazionale del corpo A attira verso sè B rendendo quindi il vettore negativo.

**Esercizio 2** L'orbita della cometa Halley, che passa intorno al sole ogni 76 anni, ha forma ellittica. Quando è nel suo punto più vicino al Sole (perielio) è ad una distanza di  $8.823 \cdot 10^{10}$  m e si muove ad una velocità di modulo 54.6 km/s. Il punto di maggiore distanza tra la cometa Halley e il Sole (afelio) è  $6.152 \cdot 10^{12}$  m. Il modulo della **velocità** della cometa Halley è maggiore o minore di 54.5 km/s quando è all'afelio? Giustifica la risposta e calcola il modulo della sua velocità all'afelio.

La risposta sta tutta nella seconda legge di Keplero. "Il segmento (raggio vettore) che unisce il centro del Sole con il centro del pianeta descrive aree uguali in tempi uguali". Sapendo questo sappiamo con certezza che quando il pianeta si trova più lontano dal sole, avrà una velocità minore. Ora ci rimane solo da trovare la velocità. Da quella frase, possiamo sapere che il rapporto velocità/spazio è costante, quindi

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \rightarrow 54600 \cdot 8.823 \cdot 10^{10} = x \cdot 3.152 \cdot 10^{12}$$

E non ci resta che isolare la  $x$

$$x = \frac{54600 \cdot 8.823 \cdot 10^{10}}{3.152 \cdot 10^{12}} \approx \boxed{783 \text{ m/s}}$$

783 m/s è sicuramente minore di 54.6 Km/s. Si noti che nella prima formula, abbiamo convertito i Km/s in m/s per convenzione.

**Esercizio 3** Un pianeta che non ruota ha raggio  $R$  ha un'orbita circolare di raggio  $a$  attorno al sole di massa  $M$ . Dimostra che sul pianeta l'effettiva attrazione gravitazionale  $g_{eff}$  è minima ai punti più vicini e lontani dal sole e massima nei punti equidistanti da questi due.

## Idrodinamica

**Esercizio 1** Un condotto orizzontale di sezione costante  $A_1 = 200 \text{ cm}^2$  si strozza raggiungendo una sezione  $A_2 = 40 \text{ cm}^2$ . Se la velocità e la pressione dell'acqua nella sezione larga sono  $v_1 = 1 \text{ m/s}$  e  $p_1 = 1 \text{ atm}$  rispettivamente, calcolare la **velocità**  $v_2$  e la **pressione**  $p_2$  nella strozzatura.

Dato che sappiamo che il tubo è orizzontale, possiamo sfruttare questa formula  $A_1 v_1 = A_2 v_2$  per trovare la velocità.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow 200 \cdot 1 = 40 \cdot v_2 \rightarrow v_2 = \frac{200 \cdot 1}{40} = \boxed{5 \text{ m/s}}$$

E ora non resta che usare Bernoulli per calcolare la pressione.

$$p_1 + \cancel{\delta gh_1} + \frac{1}{2} \delta v_1^2 = p_2 + \cancel{\delta gh_2} + \frac{1}{2} \delta v_2^2 \rightarrow p_2 = p_1 + \frac{1}{2} \delta v_1^2 - \frac{1}{2} \delta v_2^2 \rightarrow p_2 = 1 \cdot 10^5 + \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 1^2 - \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 5^2 = \boxed{0.89 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

Si è eliminato l'elemento  $\delta gh$  in quanto i due pezzi di tubo si trovano alla stessa altezza e quindi non c'è variazione di altezza.

**Esercizio 2** Un recipiente largo è pieno di acqua fino ad una profondità  $H$ . Si fa un piccolo foro ad una distanza  $h$  dal livello dell'acqua e un flusso di acqua esce. A che distanza arriva il flusso?

Questo esercizio offre la possibilità di dimostrare l'equazione di Torricelli. Usando il teorema di Bernoulli, nella nostra situazione scriviamo

$$p_1 + \delta gh_1 + 0 = p_2 + 0 + \frac{1}{2} v^2$$

perché nella prima posizione l'acqua è ferma o quasi (il contenitore è largo), nella seconda è ad altezza 0. Quindi isolando per  $v$  otteniamo

$$v = \sqrt{2gh}$$

Dimostrato ciò, possiamo trattare il flusso di acqua come un proiettile che cade. Quindi usare la legge oraria per trovare il tempo

$$x = x_0 + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$$

Per trovare la distanza avendo velocità e tempo, li moltiplichiamo quindi abbiamo

$$\boxed{x = vt = 2\sqrt{h(H-h)}}$$

Inserendo i valori dati, possiamo quindi ottenere in una sola formula la distanza del getto di liquido.

## Termodinamica

**Esercizio 1** Un calorimetro contiene 400 g di acqua alla temperatura di 20°C e una massa complementare (detto anche equivalente in acqua del calorimetro) di 40°C. In esso viene immerso un pezzo di ghiaccio di massa 50 g alla temperatura di 0°C. Sapendo che il calore latente di fusione del ghiaccio è 80 cal/g, calcolare la temperatura finale di equilibrio dell'acqua.

Dato che dobbiamo trovare la temperatura di equilibrio, possiamo dire che la quantità di calore iniziale e finale sono uguali ma opposte in quanto la quantità di calore finale è 0. Questo implica che  $Q_1 + Q_2 = 0$ . Però abbiamo anche un passaggio di stato, quindi dobbiamo tenere conto anche del calore latente. Quindi la nostra equazione diventa  $Q_1 + Q_2 + Q_L = 0$ .

Ora dobbiamo trasformare. Per prima cosa calcoliamo il calore latente

$$Q_L = c \cdot m \rightarrow Q_L = 328 \cdot 50 = 16500 \text{ J}$$

Da dove viene fuori il 328? Dato che tutte le quantità di calore sono in Joule, possiamo convertire da cal/g a J sapendo che 1 cal = 4.1 J.

Ora possiamo cominciare a sostituire (si presti attenzione che il calore latente è negativo in quanto è energia in più richiesta per la trasformazione)

$$-Q_L + Q_1 + Q_2 = 0 \rightarrow 16500 + m_1 c_1 \Delta T + m_2 c_2 \Delta T = 0$$

Quanto valgono le masse? Immediatamente verrebbe da dire 400 e 50. Però se si nota nel testo è presente l'equivalente in acqua del calorimetro. Non possiamo dimenticarcelo quindi otteniamo

$$\begin{aligned} -Q_L + Q_1 + Q_2 &= 0 \rightarrow \\ 16500 + 440 \cdot 4.1 \cdot (20 - T_e) + 50 \cdot 4.1 \cdot (-T_e) &= 0 \end{aligned}$$

E ora non resta che isolare e risolvere per  $T_e$ .

$$\begin{aligned} -16500 + 440 \cdot 4.1 \cdot (20 - T_e) + 50 \cdot 4.1 \cdot (-T_e) &= 0 \rightarrow \\ -16500 + 1804 \cdot (20 - T_e) + 205 \cdot (-T_e) &= 0 \rightarrow \\ -16500 + 36080 - 1804T_e - 205T_e &= 0 \rightarrow \\ -16500 + 36080 &= 205T_e + 1804T_e \rightarrow \\ 19580 &= 2054T_e \rightarrow \\ T_e &= \boxed{9.5^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

**Esercizio 2** Una massa  $m_1$  di ossigeno ( $O_2$ ) occupa, alla temperatura di 7°C, un recipiente che ha un volume pari a 20 dm<sup>3</sup>, alla pressione di  $2 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>. Una massa  $m_2$  di idrogeno ( $H_2$ ) occupa, alla temperatura di 27°C, un recipiente di volume pari a 50 dm<sup>3</sup>, alla pressione di 1 atm. Calcola la **pressione** che eserciterebbe il miscuglio dei due gas in un recipiente di volume pari a 70 l alla temperatura di 0°C.

**Esercizio 3** Un gas perfetto caratterizzato da  $\gamma = 1.67$  esegue un ciclo formato dall'isoterma AB, dall'isocora BC, dall'isobara CD e dall'adiabatica DA che chiude il ciclo delle quattro trasformazioni reversibili. Sapendo che:

- $V_A = 51$
- $V_B = 251$
- $p_A = 20 \text{ atm}$
- $T_A = 300 \text{ K}$
- $p_C = 2 \text{ atm}$

- a) Rappresenta graficamente il ciclo;
- b) Gli altri parametri termodinamici degli stati A, B, C, D;
- c) La quantità di calore scambiato in ognuna delle quattro trasformazioni;

**Esercizio 4** Una macchina di Carnot lavora tra due sorgenti alle temperature  $T_1 = 390 \text{ K}$  e  $T_2 = 273 \text{ K}$  compiendo ad ogni ciclo un lavoro  $L = 10^5 \text{ J}$ . La sorgente alla temperatura più bassa è costituita da una massa di ghiaccio  $M = 10^4 \text{ kg}$  (calore latente di fusione 80 cal/g). Si chiede di determinare dopo **quanti cicli** il ghiaccio è totalmente sciolto.

## Entropia

Un blocco di ghiaccio che ha una massa  $m = 450 \text{ g}$  e che si trova alla temperatura di 0°C fonde completamente.

- Quanto vale la variazione di entropia dovuta alla fusione del ghiaccio? In seguito l'entropia del sistema diminuisce e diventa la metà
- Quanto ghiaccio si crea?

$$\text{Calore latente } c_L = 3.34 \cdot 10^5 \text{ J/Kg}$$

Innanzitutto troviamo la quantità di calore necessaria a sciogliere tutto il ghiaccio

$$Q_L = c_L m \rightarrow Q_L = 3.34 \cdot 10^5 \cdot 0.45 = 1.5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Poi sapendo che c'è solo una sorgente di calore (non è specificato altrimenti), possiamo calcolare molto facilmente la differenza di entropia

$$\Delta S = \frac{Q_L}{T} \rightarrow \Delta S = \frac{1.5 \cdot 10^5}{273} = 549 \text{ J/K}$$

Sappiamo però che l'entropia del sistema dimezza

$$\Delta S = -\Delta S \cdot 0.5 \rightarrow \Delta S = -549 \cdot 0.5 = -275 \text{ J/K}$$

La differenza è negativa in quanto l'entropia diminuisce. E ora non ci resta che calcolare la nuova quantità di calore e trovare la massa

$$Q = \Delta ST \rightarrow Q = -275 \cdot 273 = 7.51 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$m = \frac{Q_L}{c_L} \rightarrow m = \frac{7.51 \cdot 10^4}{3.34 \cdot 10^5} = \boxed{0.225 \text{ kg}}$$

**Esercizio 2** Due moli di  $O_2$  a pressione atmosferica e a temperatura ambiente (300 K) si trovano all'interno di un recipiente adiabatico. Quando viene aperto il rubinetto che separa il primo recipiente dal secondo, in cui era stato fatto il vuoto, il gas si espande andando a occupare tutto il volume, pari a 82.5 dm<sup>3</sup>.

Calcola: la variazione di entropia del sistema, la variazione di entropia dell'universo e quanto sarebbe dovuto essere il volume finale per avere una variazione di entropia doppia.

Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 3

Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 4

Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 2

Innanzitutto sappiamo che questa trasformazione è irreversibile, quindi ci aspettiamo che l'entropia aumenti. Non avendo la temperatura, non possiamo usare direttamente la formula. Ricordandoci che in una espansione isoterma (come in questo caso) la quantità di calore è pari a  $Q = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ . Inserendolo nella formula dell'entropia otteniamo

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{nRT \ln \frac{V_f}{V_i}}{T} = nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Da questo notiamo che ci manca solo  $V_i$  per poter risolvere.

$$p_i V_i = nRT \rightarrow V_i = \frac{nRT}{p_i} \rightarrow V = \frac{2 \cdot 8.315 \cdot 300}{1.01 \cdot 10^5} = 0.0494 \text{ m}^3$$

E ora

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i} \rightarrow \Delta S = 2 \cdot 8.315 \cdot \ln \frac{0.0835}{0.0494} = \boxed{8.7 \text{ J/K}}$$

Quanto vale l'entropia nell'universo? Essendo adiabatica, la trasformazione non scambia con l'esterno, quindi l'entropia è pari all'entropia del sistema.

Per trovare il volume finale per avere una differenza doppia, invertiamo la formula e isoliamo il volume

$$\Delta S' = nR \ln \frac{V_f'}{V_i} \rightarrow \frac{\Delta S'}{nR} = \ln \frac{V_f'}{V_i} \rightarrow V_f' = V_i e^{\frac{\Delta S'}{nR}} \rightarrow V_f' = V_i e^{\frac{2\Delta S}{nR}}$$

E ora non resta che risolvere

$$V_f' = V_i e^{\frac{2\Delta S}{nR}} \rightarrow V_f' = 0.0494 \cdot e^{\frac{2 \cdot 8.73}{2 \cdot 8.315}} = \boxed{0.14 \text{ m}^3}$$

## Onde

### Formule generali

**Esercizio 1** Una corda ha densità lineare  $8.5 \cdot 10^{-1} \text{ kg/m}$  è sottoposta ad una tensione di  $280 \text{ N}$ . La corda è lunga  $1.8 \text{ m}$ , è fissata agli estremi. Determina **velocità, lunghezza d'onda e frequenza** delle onde che formano l'onda stazionaria.

Come sappiamo da [queste formule](#), la velocità la possiamo trovare facilmente:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow \sqrt{\frac{280}{8.5 \cdot 10^{-3}}} \approx \boxed{181.50 \text{ m/s}}$$

Trovata la velocità, possiamo trovarci la lunghezza d'onda facendo  $\lambda = vT$ .

$$\lambda = vT \rightarrow 181.50 \cdot 8.5 \cdot 10^{-3} \approx \boxed{1.5 \text{ m}}$$

Infine troviamo la frequenza sfruttando un'altra formula:  $v = \lambda f$ .

$$f = \frac{v}{\lambda} \rightarrow f = \frac{181.50}{1.5} \approx \boxed{121 \text{ Hz}}$$

Questo esercizio era anche risolvibile usando le formule delle onde stazionarie, dato che sapevamo la lunghezza della corda. Come sempre, ci sono varie strade che portano a risultati simili.

**Esercizio 2** Una formula sperimentale per individuare la velocità del suono nell'aria è  $v_s = 331 + 0.6 \cdot t_c$  dove  $t_c$  è la temperatura in °C. Mediante uno strumento a corda, viene prodotta una nota musicale di frequenza  $440 \text{ Hz}$ . La temperatura dell'aria è di  $20^\circ\text{C}$ .

All'incirca, **quante vibrazioni** effettua la corda prima che il suono da essa prodotto raggiunga una persona distante  $30 \text{ metri}$ ?

Il testo chiede "quante vibrazioni" che non significa altro che quanti ventri ci sono in quell'onda. Prima di tutto però, troviamo la velocità del suono:

$$v_s = 331 + 0.6 \cdot t_c \rightarrow v_s = 331 + 0.6 \cdot 20 = \underline{343 \text{ m/s}}$$

A noi chiede quanti ventri, quindi possiamo calcolare  $n$  semplicemente come  $\frac{L}{\lambda}$  dato che il suono si comporta come un'onda stazionaria.

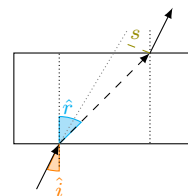
$$v = f\lambda \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda = \frac{343}{440} \approx \underline{0.78 \text{ m}}$$

$$n = \frac{L}{\lambda} \rightarrow n = \frac{30}{0.78} \approx \boxed{38}$$

Questo esercizio sfrutta il principio che un'emettitore sonoro, emette sempre alla stessa frequenza, quindi le onde generate sono considerabili stazionarie.

### Rifrazione

**Esercizio 1** Un vetro di spessore  $d = 1.5 \text{ cm}$  ha un'indice di rifrazione rispetto all'aria di  $1.62$ . Trova lo **scostamento**  $s$ , rispetto alla traiettoria originaria, che subisce un raggio luminoso incidente sulla superficie di vetro con un angolo di  $54^\circ$  e uscente nuovamente in aria.



Conoscendo l'angolo di incidenza e l'indice di rifrazione, possiamo usare la relazione di Snell per trovare l'angolo di rifrazione

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} \rightarrow \hat{r} = \arcsin \left( \frac{n_1}{n_2} \sin \hat{i} \right) \rightarrow \hat{r} = \arcsin \left( \frac{1}{1.62} \sin 54 \right) \rightarrow \hat{r} \approx \underline{30^\circ}$$

Una volta fatto questo, possiamo trovarci la lunghezza distanza che il raggio percorre all'interno del vetro

$$\Delta d = \frac{d}{\cos \hat{r}} \approx \underline{1.73 \text{ cm}}$$

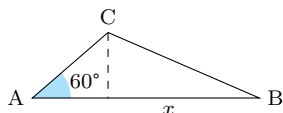
Infine troviamo  $s$

$$s = \sin(\hat{i} - \hat{r}) \cdot \Delta d \rightarrow \sin 24 \cdot \Delta d \approx \boxed{0.7 \text{ cm}}$$

In questo esercizio, così come in molti altri del suo genere, si usa estensivamente trigonometria in quanto si possono facilmente individuare triangoli rettangoli all'interno di vetri.

## Interferenza

**Esercizio 1** Due altoparlanti A e B, che vibrano in fase alla frequenza di 85 Hz, sono posizionati come in figura. Una ragazza è ferma nel punto C a 1.0 m di distanza dall'altoparlante A. Assumendo che il suono si propaghi nell'aria a 340 m/s, determina qual è la **distanza minima** fra i due altoparlanti tale da far sì che la ragazza dalla sua postazione non oda nulla.



La prima cosa da notare è il tipo di interferenza richiesto. Dato che viene chiesto quando un ascoltatore non sente più alcun suono, l'interferenza è distruttiva. Per prima cosa però, è trovare la distanza  $\overline{CB}$ . Per fare ciò, poniamo  $x$  la distanza da B all'altezza.

$$\overline{CB} = \sqrt{\sin(60)^2 + x^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + x^2} = \sqrt{\frac{3}{4} + x^2}$$

Il perché di questo è che  $\sin(60)$  è l'altezza del triangolo e abbiamo posto  $x$  come uno dei cateti del triangolo rettangolo a destra.

Ora possiamo impostare la formula dell'interferenza distruttiva

$$|\overline{PS}_1 - \overline{PS}_2| = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \rightarrow \sqrt{\frac{3}{4} + x^2} - 1 = \left(\frac{1}{2} + k\right) \cdot 85$$

Ora non resta che risolvere. Alla fine si dovrebbe arrivare ad un'equazione di questo genere

$$x = \sqrt{18k^2 + 40k + 8.25}$$

Questa è un'equazione parametrica, nel parametro  $k$ . In questo caso assegniamo  $k = 0$  in quanto il testo chiede la **distanza minima** perché ci sia interferenza distruttiva. La prima frangia distruttiva ha come  $k$  il valore 0. Terminando quindi

$$x = \sqrt{18k^2 + 40k + 8.25} \rightarrow x = \sqrt{18k^2 + 40k + 8.25} \approx 2.87 \text{ m}$$

Non è questo però il risultato finale. Il motivo è che  $x$  non rappresenta completamente la distanza tra A e B. Bisogna ancora aggiungere quella da A all'altezza. Quindi

$$\overline{AB} = x + \cos(60) = 2.87 + 0.5 = 3.37 \text{ m}$$

## Esperienza di Young

**Esercizio 1** Nell'interferenza tra due fenditure poste a distanza  $d = 25 \text{ cm}$  tra loro, si forma su uno schermo di distanza  $l = 1 \text{ m}$  una figura il cui secondo massimo di intensità si trova ad  $x = 20 \text{ cm}$  dal massimo centrale. Calcola la **lunghezza d'onda dell'onda incidente**.

Abbiamo come sempre varie strade per risolvere questo problema. La più facile è quella di invertire la formula per trovare l'altezza di una frangia costruttiva. È costruttiva

perché ci dice che è il [...] *secondo massimo di intensità* che stiamo cercando. Quindi, invertiamo la formula

$$y_n = \frac{l \cdot n \cdot \lambda}{d} \rightarrow \lambda = \frac{y_n \cdot d}{l \cdot n}$$

e semplicemente sostituiamo

$$\lambda = \frac{y_n \cdot d}{l \cdot n} \rightarrow \lambda = \frac{0.2 \cdot 0.25}{1 \cdot 2} \rightarrow \lambda = 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ cm}$$

Si noti che è stato posto  $n = 2$  in quanto chiede il secondo massimo.

**Esercizio 2** Nell'esperimento della doppia fenditura di Young, la prima frangia scura sopra la frangia centrale chiara appare ad un angolo di  $0.29^\circ$ .

Calcola il **rapporto** tra la separazione delle fenditure  $d$  e la lunghezza d'onda della luce  $\lambda$ .

Per prima cosa, individuiamo la formula da usare. Abbiamo l'angolo e ci chiede  $\frac{d}{\lambda}$ . Osservando che è una frangia scura, notiamo questa formula:

$$\sin \theta_n = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$$

Notiamo che abbiamo tutto quello che ci serve per isolare  $\frac{\lambda}{d}$  e poi farne il reciproco per ottenere quello che ci serve. Isolando quindi il risultato desiderato otteniamo

$$\sin \theta_n = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} \rightarrow \frac{\sin \theta_n}{n - \frac{1}{2}} = \frac{\lambda}{d} \rightarrow \frac{d}{\lambda} = \frac{n - \frac{1}{2}}{\sin \theta_n}$$

E ora non ci resta che inserire i valori

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{n - \frac{1}{2}}{\sin \theta_n} \rightarrow \frac{d}{\lambda} = \frac{1 - \frac{1}{2}}{\sin(0.29)} \rightarrow \frac{d}{\lambda} \approx \frac{\frac{1}{2}}{0.005} \rightarrow \frac{d}{\lambda} = 100$$

Ovviamente con migliori approssimazioni si ottengono risultati più simili a 99 ma un errore di 1/100 è accettabile.

## Suono

**Esercizio 1** Due altoparlanti sono montati su una giostra di raggio 9.01 m. Quando la giostra è ferma, i due altoparlanti producono lo stesso suono alla frequenza di 100.0 Hz. Sono messi in posizione diametralmente opposta. La velocità del suono è 343.00 m/s e la giostra fa un giro di 20.0 s. Qual è il **battimento** rilevato da un ascoltatore quando la giostra è posta in modo da avere gli altoparlanti paralleli all'ascoltatore?

Come ricordiamo, la formula per i battimenti richiede due frequenze. Essendo che stiamo lavorando con il suono e la sorgente si muove, si usa Doppler.

Per prima cosa, troviamoci la velocità a cui ruota la giostra.

$$v_t = \frac{2\pi r}{T} \rightarrow \frac{2\pi \cdot 9.01}{20} \approx 2.83 \text{ m/s}$$

Trovata la velocità, possiamo usare Doppler per trovare la frequenza percepita. Raddoppiamo il processo in quanto gli altoparlanti prima si avvicinano e poi si allontanano. Noi dobbiamo trovare i battimenti prodotti da questo movimento.

$$f = \frac{v + v_o}{v + v_s} \cdot f_s \rightarrow f = \frac{343 + 0}{343 + 2.83} \cdot 100 \approx 99.19 \text{ Hz}$$

$$f = \frac{v + v_o}{v - v_s} \cdot f_s \rightarrow f = \frac{343 + 0}{343 - 2.83} \cdot 100 \approx 100.83 \text{ Hz}$$

In fine, usiamo i battimenti

$$f_b = |f_o - f_s| \rightarrow f_b = |100.83 - 99.19| \approx 1.64 \text{ Hz}$$

**Esercizio 2** Una persona che si trova a  $4.0\text{ m}$  da una parte lancia un grido tale che il suono colpisce la parete con un'intensità di  $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$ . Supponendo che la parete assorba il 20% dell'energia sonora incidente e che rifletta il resto, qual è il **livello di intensità sonora** immediatamente prima e dopo che il suono è stato riflesso?

Per prima cosa ci troviamo la superficie in cui il suono si diffonde. Dato che sappiamo il suono si espande in forma sferica

$$S = 4\pi r^2 \rightarrow S = 4 \cdot 16\pi \approx \underline{201.06 \text{ m}^2}$$

Avendo l'intensità e la superficie, possiamo trovarci l'energia semplicemente invertendo la formula

$$I = \frac{E}{S} \rightarrow E = IS \rightarrow 2.5 \cdot 10^{-4} \cdot 201.06 \approx \underline{5.026 \cdot 10^{-2} \text{ J}}$$

Questa è l'energia prima colpisce la parete, per trovare quella dopo

$$20\% \cdot 5.026 \cdot 10^{-2} \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

e quindi l'80% equivale semplicemente a

$$5.026 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3} = \underline{4.026 \cdot 10^{-2} \text{ J}}$$

Ci manca solo l'intensità nel secondo momento

$$I = \frac{E}{S} \rightarrow I = \frac{4.026 \cdot 10^{-2}}{201.06} \approx \underline{2 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2}$$

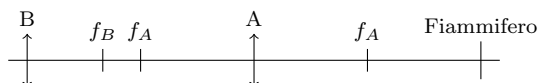
Ora abbiamo tutto quello che ci serve per finire l'esercizio. Ci troviamo dunque i livelli sonori

$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \rightarrow L_1 = 10 \log_{10} \frac{2.5 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \approx \underline{83.9 \text{ dB}}$$

$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \rightarrow L_2 = 10 \log_{10} \frac{2 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} \approx \underline{83 \text{ dB}}$$

## Lenti

**Esercizio 1** Due lenti sono disposte come in figura. Un fiammifero di altezza  $2\text{ cm}$  si trova a  $5\text{ cm}$  alla destra di una lente A che ha distanza focale  $\overline{C_A F_A}$  pari a  $3\text{ cm}$ . La seconda lente B, con una distanza focale  $\overline{C_B F_B}$  di  $5\text{ cm}$ , deve essere posta a sinistra rispetto all'immagine reale generata dalla prima, in maniera tale che essa formi un'immagine virtuale tre volte maggiore nei confronti dell'altezza del fiammifero vero e proprio. **Quale distanza separa le due lenti?**



Quest'esercizio non è facile e non è breve ma una volta risolto, si dovrebbe capire chiaramente come risolvere altri esercizi sulle lenti.

Per prima cosa, si trovi la posizione dell'immagine nella prima riflessione

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{3} - \frac{1}{5} \rightarrow \frac{1}{q} = \frac{2}{15} \rightarrow q = \underline{7.5 \text{ cm}}$$

A questo punto, sapendo che deve essere ingrandita di tre volte ( $G = 3$ ), possiamo usare la formula dell'ingrandimento

ed invertendola isolare  $p$  per sapere la posizione dell'immagine e quindi sapere la distanza tra le due lenti perché si ingrandisca tre volte. Possiamo farlo dato che la posizione dell'immagine della prima lente coincide con quella dell'oggetto della seconda lente.

$$G = -\frac{q}{p} \rightarrow p = -\frac{q}{G} \rightarrow p = -\frac{q}{3}$$

La lasciamo in forma parametrica con il parametro  $q$  in quanto è la nostra incognita.

Dato che ora stiamo lavorando con un'altra lente, riappliciamo la prima formula

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{5} = \frac{1}{-\frac{q}{3}} + \frac{1}{q} \rightarrow \frac{1}{5} = -\frac{3}{q} + \frac{1}{q} \rightarrow \frac{1}{5} = -\frac{2}{q} \rightarrow \frac{q}{5} = -2 \rightarrow q = \underline{-10 \text{ cm}}$$

Il risultato è negativo in quanto si trova dietro la prima lente, nostro punto di riferimento per questo esercizio.

## Esercizio 2

### Elettrostatica

**Esercizio 1** Le armature di un condensatore piano hanno una superficie  $S = 1 \text{ m}^2$  e distano  $1\text{ cm}$ . Tra di loro c'è il vuoto. La differenza di potenziale applicata ai capi delle armature è  $V = 10^4 \text{ V}$ . Calcolare la **capacità** del condensatore, la **carica** su ogni armatura, la **densità** di carica superficiale, l'**intensità** del campo elettrico.

Tra le armature del condensatore viene inserita una lamina di dielettrico di spessore  $1\text{ cm}$  e di costante elettrica relativa  $\epsilon_r = 5$ . Calcolare la **densità** di carica superficiale, l'**intensità** del campo elettrico, la **d.d.p.** ai capi delle armature e la **capacità**.

Questo esercizio è un esercizio direi riassuntivo di tutte le formule riguardanti i condensatori. Per prima cosa possiamo immediatamente trovare la capacità del condensatore applicando una sola formula.

$$C = \frac{S\epsilon}{d} \rightarrow C = \frac{S\epsilon_0}{d} \rightarrow C = \frac{1 \cdot 8.8 \cdot 10^{-12}}{0.01} = \underline{8.8 \cdot 10^{-10} \text{ F}}$$

E immediata viene anche la carica, invertendo la formula

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = C \cdot V \rightarrow Q = 8.8 \cdot 10^{-10} \cdot 10^4 = \underline{8.8 \cdot \mu\text{C}}$$

La densità di carica ora viene immediata anch'essa

$$\sigma = \frac{Q}{S} \rightarrow \sigma = \frac{8.8 \cdot 10^{-6}}{1} = \underline{8.8 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2}$$

E ora manca solo il campo elettrico, abbiamo due modi per trovarlo, questo è uno

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x} \rightarrow \frac{10^4}{0.01} = \underline{10^6 \text{ V/m}}$$

E questo era metà esercizio. Ora abbiamo lo stesso condensatore con un dielettrico al suo interno.

La prima richiesta è la densità di carica. Risulta essere uguale a

$$\sigma = \underline{8.8 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2}$$

Ma è identica a prima? Come mai? Pensando un attimo, vediamo che il condensatore è isolato, quindi non ci sono modi per cui le cariche si spostino. Essendo poi le due armature isolate fra di loro, la carica non può spostarsi da una all'altra quindi la densità non varia.

Avendo chiarito questo punto, possiamo trovare l'intensità del campo elettrico

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow E = \frac{E_0}{\varepsilon_r} = \frac{10^6}{5} = \boxed{0.2 \cdot 10^{-6} \text{ V/m}}$$

Qui abbiamo semplicemente scomposto la formula del campo elettrico:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\varepsilon_r} \rightarrow E = \frac{E_0}{\varepsilon_r}$$

E ora si trova la d.d.p.

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x} \rightarrow \Delta V = E \Delta x \rightarrow \Delta V = 0.2 \cdot 10^6 \cdot 0.01 = \boxed{0.2 \cdot 10^4 \text{ V}}$$

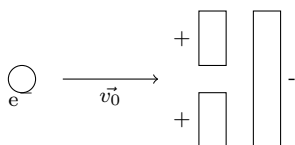
Infine manca la capacità

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \rightarrow C = \frac{\varepsilon_0}{d} \varepsilon_r \rightarrow$$

$$C = C_0 \varepsilon_r \rightarrow C = 8.8 \cdot 10^{-10} \cdot 5 = \boxed{4.4 \cdot 10^{-9} \text{ F}}$$

**Esercizio 2** L'elettrone rappresentato in figura è **destinato a raggiungere l'armatura** del condensatore caricata negativamente se questa dista 5 mm dall'armatura positivamente? Se sì, determina con quale velocità, se no, determina quale avrebbe dovuto essere la velocità iniziale minima in grado di consentirgli di raggiungere l'armatura.

- $v_0 = 750 \text{ m/s}$
- $E = 3.5 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}$



Allora, per prima cosa vediamo da che parte il campo elettrico va: dato che le cariche positive sono a sinistra, il campo segue questo verso ed è in linea con la velocità. Poi però notiamo che appena l'elettrone entra nel condensatore subirà una forza contraria in quanto ha carica negativa così come l'armatura di destra.

Chiariti questi punti, come possiamo sapere se arriverà alla seconda armatura? Una formula molto comoda del moto rettilineo uniformemente accelerato torna utile:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2aS$$

Con questa possiamo sapere quanta distanza percorre il nostro elettrone. Se è inferiore alla distanza tra le armature, allora la velocità non è sufficiente. Ora il problema è: come troviamo l'accelerazione? Ci tocca invertire la formula fondamentale della dinamica

$$\vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

ma il problema è: qual è la forza? Ovviamente è quella repulsiva che l'elettrone sente a causa dell'armatura caricata negativamente. Come trovarla? Semplice

$$\vec{F} = q\vec{E} \rightarrow F = qE = -1.60 \cdot 10^{-19} \cdot 3.5 \cdot 10^{-4} = \underline{-5.6 \cdot 10^{-23} \text{ N}}$$

E ora possiamo trovare l'accelerazione

$$a = \frac{F}{m} \rightarrow a = \frac{-5.6 \cdot 10^{-23}}{9.11 \cdot 10^{-31}} = \underline{-6.1 \cdot 10^4}$$

Ora completiamo l'equazione precedente

$$v_f^2 - v_i^2 = 2aS \rightarrow S = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} \rightarrow S = \frac{0^2 - 750^2}{2 \cdot 6.1 \cdot 10^4} = \boxed{4.5 \text{ mm}}$$

Essendo questa distanza inferiore a 5 mm, l'elettrone non raggiungerà l'altra armatura.

Seguendo lo stesso ragionamento invertiamo questa formula per trovare  $v_i$  sapendo la distanza.

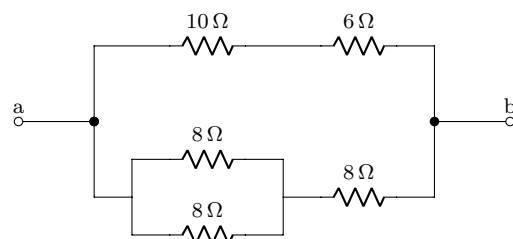
$$v_f^2 - v_i^2 = 2aS \rightarrow v_i = \sqrt{2aS + v_f^2} \rightarrow$$

$$v_i = \sqrt{2 \cdot 6.1 \cdot 10^4 \cdot 5} \approx \boxed{784 \text{ m/s}}$$

## Circuiti Elettrici

**Esercizio 1** Se la corrente nel resistore di  $6 \Omega$  della figura è di  $2 \text{ A}$ :

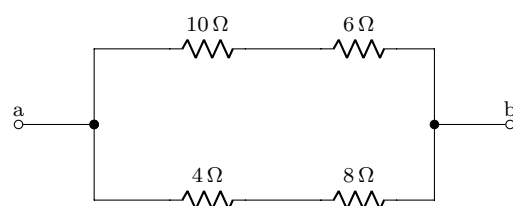
- La caduta di potenziale tra a e b;
- La corrente totale del circuito;



Per prima cosa, si semplifichino le resistenze da  $8 \Omega$  che sono in parallelo fra di loro

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \rightarrow \frac{1}{R_e} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \rightarrow R_e = \underline{4 \Omega}$$

Quindi ora il circuito è come questo

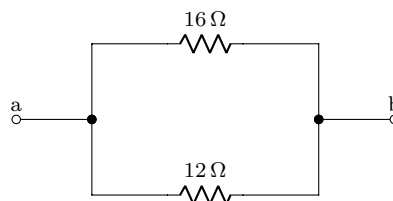


Semplifichiamolo ulteriormente riducendo le resistenze in serie

$$R_{e1} = 10 + 6 = \underline{16 \Omega}$$

$$R_{e2} = 4 + 8 = \underline{12 \Omega}$$

E il circuito ora rimane molto semplicemente



Sapevamo che nella resistenza da  $6\Omega$  del primo circuito passavano  $2A$ . Dato che si trova in serie con una da  $10\Omega$ , anche in questa passeranno  $2A$ . Sfruttando la formula

$$V = Ri$$

possiamo trovarci la caduta di potenziale tra a e b.

$$V = Ri \rightarrow V = 16 \cdot 2 = \boxed{32V}$$

Sapendo ora la d.d.p. e sapendo che le resistenze sono in parallelo, possiamo trovarci la corrente che passa nella resistenza di  $12\Omega$  invertendo quella formula

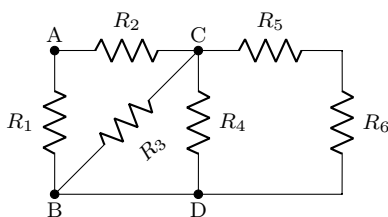
$$V = Ri \rightarrow i = \frac{V}{R} \rightarrow i = \frac{32}{12} \approx \underline{2.66V}$$

Infine, la sommiamo alla corrente del ramo "superiore" del circuito e otteniamo la corrente totale

$$i_t = i_1 + i + 2 = 2 + 2.66 = \boxed{4.66A}$$

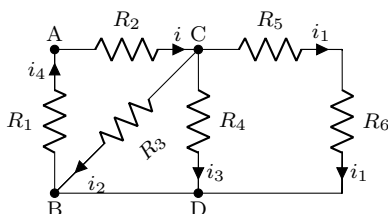
**Esercizio 2** Calcolare la resistenza  $R_{eq}$  vista ai morsetti A-B

- $R_1 = R_3 = 0.2\Omega$
- $R_4 = R_5 = 1\Omega$
- $R_2 = 0.4\Omega$
- $R_6 = 3\Omega$



Quest'esercizio, per quanto apparentemente intimidatorio, non è così complicato. La prima cosa da fare è trovare in che relazione sono le resistenze fra di loro. È immediato vedere che  $R_5$  e  $R_6$  sono in serie fra di loro in quanto non hanno collegamenti nel mezzo.

E ora come scoprire i collegamenti di quell'agroviglio di resistenze? Bisogna andare con molta calma e osservare come si diffonde la corrente. Sappiamo che A e B sono i poli della batteria quindi ipotizziamo che in A si trovi il polo positivo (metterlo in B non cambierebbe nulla). Il seguente schema chiarisce i versi delle correnti.



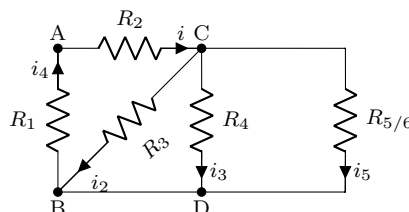
Come possiamo notare in C la corrente si divide in 3:  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ . Questo cosa ci dice? Che i tre collegamenti sono fra di loro in parallelo! Una proprietà dei collegamenti in serie è che la corrente si mantiene costante tra le resistenze, dato che in questo caso non avviene il collegamento è in parallelo.

Abbiamo quindi definito che  $R_5$  ed  $R_6$  sono in serie fra di loro; la loro equivalente,  $R_4$  ed  $R_3$  sono in parallelo fra di loro. Manca solo  $R_1$  ed  $R_2$ .  $R_2$  è immediatamente visibile

che sarà in serie con la risultante di  $R_5$ ,  $R_6$ ,  $R_4$  ed  $R_3$ . Quando rimarranno solo due resistenze,  $R_1$  e l'altra saranno in parallelo.

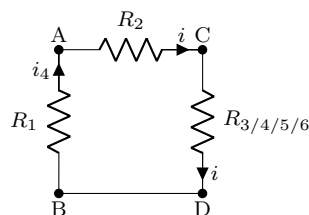
Per rendere tutto più chiaro, cominciamo a fare i calcoli e semplificare il circuito.

$$R_{5/6} = R_5 + R_6 \rightarrow R_{5/6} = 1 + 3 = \underline{4\Omega}$$



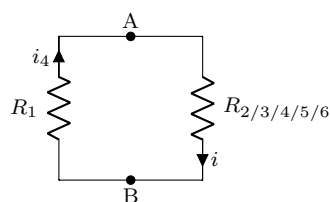
Avendo già stabilito il verso di percorrenza della corrente e i tipi di collegamento, semplifichiamo  $R_{5/6}$ ,  $R_4$  e  $R_3$ .

$$R_{3/4/5/6} = \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{5/6}} \right)^{-1} \rightarrow \left( \frac{1}{0.2} + \frac{1}{1} + \frac{1}{4} \right)^{-1} = \underline{0.16\Omega}$$



Ora semplifichiamo le due resistenze in serie ( $R_2$  e l'ultima calcolata)

$$R_{2/3/4/5/6} = R_2 + R_{3/4/5/6} \rightarrow R_{2/3/4/5/6} = 0.4 + 0.16 = \underline{0.56\Omega}$$



E ora possiamo vedere che le due resistenze sono in parallelo fra di loro e quindi possiamo semplificarle con facilità

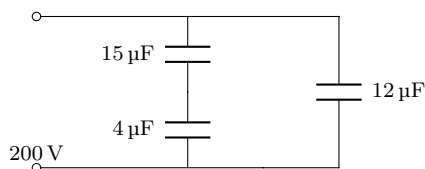
$$R_{eq} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2/3/4/5/6}} \right)^{-1} \rightarrow R_{eq} = \left( \frac{1}{0.2} + \frac{1}{0.56} \right)^{-1} = \boxed{0.147\Omega}$$

Ed ecco il nostro risultato. Il modo migliore per risolvere questi esercizi è cercare di capire in che verso va la corrente e vedere i collegamenti. Andando con calma si riuscirà senza problemi a risolvere qualsiasi esercizio proposto.



**Esercizio 3** Per la disposizione mostrata in figura si trovino:

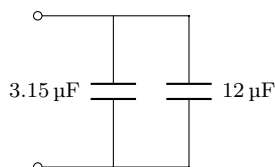
- La capacità equivalente tra i terminali
- La carica immagazzinata in ciascun condensatore
- L'energia accumulata nei condensatori



È evidente che i due condensatori da 15 e 4 sono in serie fra di loro. Il condensatore da 12 invece è in parallelo con questi due. Per risolvere il primo punto calcoliamoci l'equivalente dei due condensatori in serie.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_{eq} = \left( \frac{1}{15} + \frac{1}{4} \right)^{-1} \approx 3.15 \text{ pF}$$

Ora il circuito è come questo



Ora basta solo trovare l'equivalente di questi due in parallelo.

$$C_{eq} = C_1 + C_2 \rightarrow 3.15 + 12 = \boxed{15.15 \text{ pF}}$$

Per il secondo punto possiamo sfruttare la formula per la capacità elettrica  $C = \frac{Q}{V}$ . Dato che i due condensatori dell'ultimo circuito sono in parallelo fra di loro, la d.d.p. rimane uguale. Quindi possiamo invertire la formula e trovare immediatamente la carica nel condensatore da 12.

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = C \cdot V \rightarrow Q = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = \boxed{2400 \mu C}$$

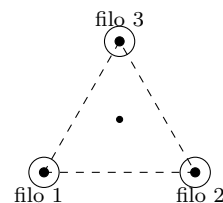
E possiamo fare lo stesso con la resistenza equivalente. Una volta fatto otterremo anche la carica su ciascuno dei due condensatori in quanto sono in serie e due condensatori in serie hanno la stessa carica.

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = C \cdot V \rightarrow Q = 3.15 \cdot 200 = \boxed{630 \mu C}$$

Aggiungere esercizi sul magnetismo

## Magnetismo

**Esercizio 1** Tre fili rettilinei paralleli sono posti sui vertici di un triangolo equilatero di lato  $d = 35 \text{ cm}$ , come mostrato in figura e sono attraversati dalle correnti  $i_1, i_2, i_3$ . Le correnti hanno tutte intensità pari a 2 A. **Determina modulo, direzione e verso della forza per unità di lunghezza che agisce su un punto al centro del triangolo nel caso in cui tutte le correnti siano uscenti dal foglio. E se uno fosse entrante?**



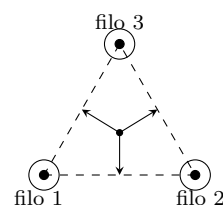
Questo è il nostro disegno e il punto al centro è quello su cui noi dobbiamo trovare la forza risultante. Scriviamo la formula per la forza che intercorre tra due fili paralleli (legge di Ampère)

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{2\pi d}$$

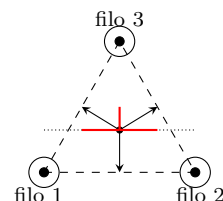
sappiamo però che tutte le correnti sono uguali quindi semplifichiamo in

$$F = \frac{4l\mu_0}{2d\pi}$$

Abbiamo  $d$  che rappresenta la distanza tra i due punti e  $l$  che è un parametro variabile. Usando la [regola della mano](#) troviamo la direzione e il verso dei vettori.



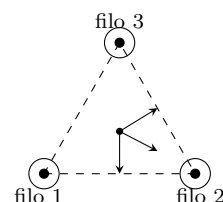
Quello che capiamo da questo disegno è decisivo: le tre forze si annullano se hanno lo stesso modulo. Come mai? Ipotizziamo di proiettare su  $x$  e  $y$  le componenti



Notiamo che la componente  $x$  si annulla e quella  $y$  perché bisogna sommare le due componenti dei vettori. Di conseguenza

$$\vec{F} = \vec{0}$$

E se uno fosse entrante? Ipotizziamo che quello entrante sia il filo 1. Il disegno dei vettori ora diventa



Sappiamo che i vettori che non si sono mossi, hanno un angolo pari a  $120^\circ$  fra di loro. Questo perché il triangolo è equilatero. Il vettore che invece si è spostato, ha semplicemente invertito verso. Se prima si trovava anch'esso a  $120^\circ$  gradi dagli altri, adesso ne è diventato la bisettrice dividendo quindi ora in due angoli da  $60^\circ$ . La risultante dei due vettori che non sono stati modificati è pari al nuovo vettore in quanto precedentemente lo annullavano. Di conseguenza la forza che si applica non è altro che

$$\vec{F}_e = 2\vec{F} \rightarrow |\vec{F}_u| = \frac{4l\mu_0}{d\pi}$$



Sistemare  
la soluzione  
sostituendo  $d$

Note

■	Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 2 . .	26
■	Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 3 . .	26
■	Aggiungere risultato e soluzione ad esercizio 4 . .	26
■	Aggiungere esercizi sul magnetismo . . . . .	32
■	Sistemare la soluzione sostituendo $d$ . . . . .	33