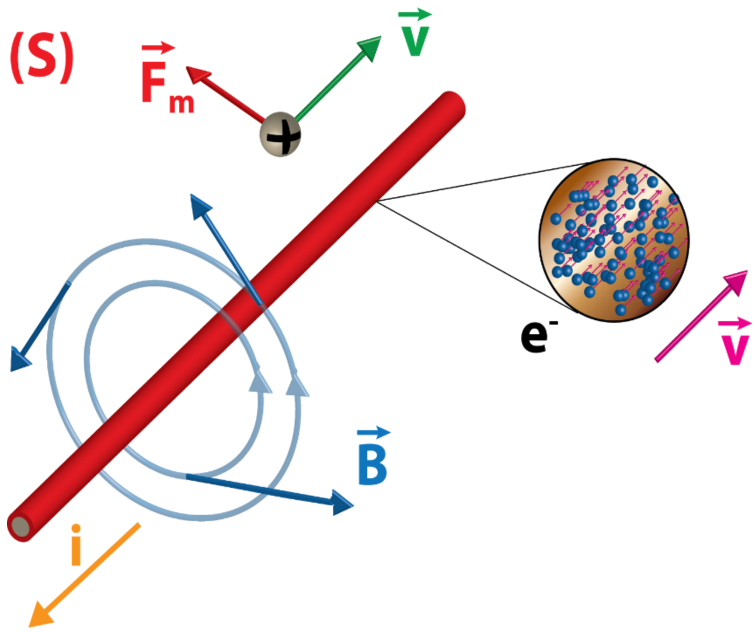
Formulario di fisica

Giovanni Pasi



Sommario

Costanti fondamentali

Costanti	Simboli	Valori	Unità
Velocità della luce nel vuoto	c	$299792458 \simeq 3 \cdot 10^{8}$	m / s
Permeabilità del vuoto	μ_0	$1{,}257 \cdot 10^{-6}$	N / A^2
Costante dielettrica (Permittività) del vuoto	ε_0	$8{,}857 \cdot 10^{-12}$	F / m
Costante Newtoniana di gravitazione	G	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$	$m^3 / kg \cdot s^2$
Accelerazione standard di gravità	g	$9{,}80665 \simeq 9{,}81$	m / s^2
Costante di Avagadro	N	$6{,}022 \cdot 10^{+23}$	mol^{-1}
Costante molare dei gas	R	$8{,}316$	$J / mol \cdot K$
Costante di Boltzmann	k	$1{,}381 \cdot 10^{-23}$	J / K
Volume molare (gas perfetti), STP	V_m	$0{,}0224$	m^3 / mol
Atmosfera standard	atm	$101325 \simeq 1{,}013 \cdot 10^{5}$	Pa
Unità di massa atomica	u	$1{,}661 \cdot 10^{-27}$	kg
Carica dell’elettrone (carica elementare)	e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$	C
Carica specifica dell'elettrone	C / m_e	$-1{,}759 \cdot 10^{11}$	C / kg
Carica specifica del protone	C / m_P	$9{,}579 \cdot 10^{7}$	C / kg
Massa dell'elettrone	m_e	$9{,}109 \cdot 10^{-31}$	kg
Massa del protone	m_P	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$	kg
Massa del neutrone	m_n	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$	kg
Massa del muone	m_μ	$1{,}884 \cdot 10^{-28}$	kg
Massa del deuterone	m_d	$3{,}344 \cdot 10^{-27}$	kg
Costante di spostamento di Wien	b	$2{,}90 \cdot 10^{3}$	$m \cdot K$
Costante di Stefan-Boltzmann	σ	$5{,}671 \cdot 10^{-8}$	$W / m^2 \cdot K^4$
Costante di Rydberg	R_H	$1{,}097 \cdot 10^{3}$	m^{-1}
Costante di Planck	h	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
h-tagliata	$\hbar$	$1{,}055 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
Lunghezza d'onda di Compton dell'elettrone	λ_C	$2{,}426 \cdot 10^{-12}$	m
Lunghezza d'onda di Compton del protone	λ_{CP}	$1{,}321 \cdot 10^{-15}$	m
Lunghezza d'onda di Compton del neutrone	λ_{Cn}	$1{,}320 \cdot 10^{-15}$	m
Raggio di Bohr	a_0	$5{,}292 \cdot 10^{-11}$	m
Magnetone di Bohr	μ_B	$9{,}274 \cdot 10^{-24}$	J / T
Raggio classico dell'elettrone	r_e	$2{,}818 x 10^{-15}$	m
Momento magnetico dell'elettrone	M_e	$9{,}285 \cdot 10^{-24}$	J / T
Momento magnetico del protone	M_p	$1{,}411 \cdot 10^{-26}$	J / T

Misure

Significato di alcuni termini	
Cifre significative	Sono tutte le cifre che compongono un numero dopo gli eventuali zeri iniziali; gli zeri finali sono sempre cifre significative e indicano che nella misura è stata valutata anche quella cifra ed è risultata uguale a zero.
Notazione scientifica di un numero	Il numero scritto come prodotto di un numero decimale compreso tra 1 e 10 (escluso) e una opportuna potenza del 10.
Ordine di grandezza	E' la potenza del 10 più vicina al numero che esprime la misura di una grandezza. Se un numero è scritto in notazione scientifica è la potenza del 10 quando il coefficiente è minore di 5, la successiva potenza in caso contrario.
Misura diretta	Quando è ottenuta confrontando la grandezza con una omogenea scelta come unità di misura.
Misura indiretta	Quando la misura è il risultato di una operazione matematica ottenuta misurando direttamente altre grandezze

Caratteristiche di uno strumento di misura	
Sensibilità	È la più piccola variazione della grandezza che lo strumento può apprezzare
Portata	È l'intervallo dei valori che lo strumento può misurare
Precisione	È l'accuratezza con cui lo strumento è stato costruito; cioè la sua fedeltà rispetto al campione di unità di misura
Prontezza	È la rapidità con cui lo strumento di misura permette la lettura del valore

Tipi di errore	
Accidentale	Si tratta di un errore casuale, dovuto all'osservatore Può essere sia in difetto che per eccesso; non si può eliminare, bisogna tenerne conto mediante la teoria degli errori
Sistematico	Si tratta di un errore dovuto alla non precisione dello strumento oppure ad una misurazione ottenuta con un metodo non corretto. Avviene sempre per eccesso o sempre per difetto; lo si può correggere utilizzando strumenti più precisi oppure modificando il metodo di misura

Misura effettuata con una sola misurazione

<table>
<tr><td>

Espressione della misura di una grandezza $m = (\overline{m} \pm \Delta m)\ u$

$\overline{m}$ = valore più attendibile (o più probabile)
$m_{\max}$ = valore più grande stimato durante la misurazione
$m_{\min}$ = valore più piccolo stimato durante la misurazione
Δm = errore assoluto (incertezza assoluta)
u = unità di misura

</td><td>

$\overline{m}$ = misura letta sullo strumento approssimando alla tacca corrispondente
$\Delta m =$ sensibilità dello strumento

<hr>

Δm deve essere scritto con una sola cifra significativa
$\overline{m}$ deve avere l'ultima cifra a destra dello stesso ordine di quella di Δm
es.: (24,05±0,02) g

</td></tr>
</table>

Misura effettuata con più misurazioni

<table>
<tr><td rowspan="3">

Espressione della misura di una grandezza $m = (\overline{m} \pm \Delta m)\ u$

$\overline{m}$ = valore più attendibile (o più probabile)
$m_{\max}$ = valore più grande stimato durante la misurazione
$m_{\min}$ = valore più piccolo stimato durante la misurazione
Δm = errore assoluto (incertezza assoluta)
u = unità di misura

</td><td>

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{n}$$

cioè $\overline{m}$ = media delle misure

</td></tr>
<tr><td>

$\Delta m =$

$$\frac{m_{\max} - m_{\min}}{2}$$
cioè la semidispersione

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} \left| m_i - \overline{m} \right|}{n}$$
cioè la media del valore assoluto degli scarti

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (m_i - \overline{m})^2}{n}}$$
cioè la deviazione standard o scarto quadratico medio

</td></tr>
<tr><td>

Δm deve essere scritto con una sola cifra significativa (o al massimo, due)
$\overline{m}$ deve avere l'ultima cifra a destra dello stesso ordine di quella di Δm (o della seconda a destra di Δm)
se Δm < sensibilità dello strumento di misura, allora si pone Δm **= sensibilità**
es.: (24,05±0,02) g

</td></tr>
</table>

Errore relativo di una grandezza	
Errore relativo ε di una grandezza m	$\varepsilon = \frac{\Delta m}{\overline{m}}$
Relazioni inverse	$\Delta m = \varepsilon \cdot \overline{m}$ $\qquad$ $\overline{m} = \frac{\Delta m}{\varepsilon}$

Propagazione dell'errore nelle misure indirette	
La grandezza è la somma di due misure $S = a + b$	L'errore assoluto è la somma degli errori assoluti $\Delta S = \Delta a + \Delta b$
La grandezza è la differenza di due misure $D = a - b$	L'errore assoluto è la somma degli errori assoluti $\Delta D = \Delta a + \Delta b$
La grandezza è il prodotto di due misure $P = a \cdot b$ (caso particolare) La grandezza è il prodotto di un numero per una misura $P = k \cdot a$	L'errore relativo è la somma degli errori relativi $\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_b$ Si moltiplica per *k* l'errore assoluto $\Delta P = k \Delta a$
La grandezza è il quoziente di due misure $Q = \frac{a}{b}$ (caso particolare) La grandezza è il quoziente tra una misura e un numero $Q = \frac{a}{k}$	L'errore relativo è la somma degli errori relativi $\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_b$ Si divide per *k* l'errore assoluto $\Delta P = \Delta a / k$

Cinematica

Moto rettilineo uniforme	
Legge oraria v = velocità costante s_0 = posizione iniziale (al tempo t = 0)	$s = vt + s_0$
Velocità s_1 = posizione iniziale s_2 = posizione finale t_1 = istante iniziale t_2 = istante finale	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$
Legge della velocità	$v = v_0$ *(la velocità è costante e uguale a quella iniziale)*

Moto rettilineo uniformemente accelerato	
Legge oraria v_0 = velocità iniziale s_0 = posizione iniziale (al tempo t = 0) a = accelerazione costante $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0$
Se $s_0 = 0$	$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$
Se anche $v_0 = 0$	$s = \frac{1}{2}at^2$ $a = \frac{2s}{t^2}$ $t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$
Legge delle velocità v_0 = velocità iniziale	$v = at + v_0$ $a = \frac{v - v_0}{t}$ $t = \frac{v - v_0}{a}$
Relazione spazio-velocità Se $v_0 = 0$	$v^2 - v_0^2 = 2as$ $v = \sqrt{2as}$
Nel moto di caduta (sulla Terra) l'accelerazione *a* si indica con *g* e vale circa 9,8 m/s^2. *g* deve essere presa con segno positivo se il sistema di riferimento è rivolto verso il basso, con segno negativo se il sistema di riferimento è rivolto verso l'alto.	

Moto in due (o più dimensioni) dimensioni	
Principio di indipendenza dei moti	Il moto in 2 o 3 (o più dimensioni) avviene come sovrapposizione dei moti in ciascuna dimensione senza che ogni dimensione influisca su un'altra
Legge oraria (in 3 dimensioni)	$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \\ z = h(t) \end{cases}$

Moto parabolico	
Legge oraria v_{0x} = componente di v_0 nella direzione *x* v_{0y} = componente di v_0 nella direzione *y* S.R. rivolto verso l'alto; $g \cong 9{,}8 \frac{m}{s^2}$	$\begin{cases} x = v_{0x}t + x_0 \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t + y_0 \end{cases}$
Legge delle velocità S.R. rivolto verso l'alto; $g \cong 9{,}8 \frac{m}{s^2}$	$\begin{cases} v_x = v_{0x} \\ v_y = -gt + v_{0y} \end{cases}$
Equazione della traiettoria con partenza dall'origine O	$y = -\frac{g}{2v_{0x}}x^2 + \frac{v_{0y}}{v_{0x}}x$
Tempo impiegato a raggiungere il punto di altezza massima	$t = \frac{v_{0y}}{g}$
Altezza massima raggiunta ϑ **=** angolo di lancio rispetto all'orizzontale	$y_{\max} = \frac{v_0^{\,2} sen^2 \vartheta}{2g}$
Gittata L ϑ **=** angolo di lancio rispetto all'orizzontale	$L = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g}$ $L = \frac{v_0^{\,2}}{g} sen 2\vartheta$

Moto circolare uniforme	
Periodo T	tempo impiegato a compiere un giro
Frequenza f *(numero di giri al secondo)*	$f = \frac{1}{T}$
Velocità periferica v $v = \frac{dl}{dt}$	$v = \frac{2\pi r}{T}$ $v = 2\pi r f$ $v = \omega r$
Velocità angolare ω $\omega = \frac{d\vartheta}{dt}$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$ $\omega = 2\pi f$ $\omega = \frac{v}{r}$
Accelerazione centripeta a_c	$a_c = \frac{v^2}{r}$ $a_c = \omega^2 r$ $a_c = v\omega$
Legge oraria *(angolare)*	$\vartheta = \omega t + \vartheta_0$

Moto circolare uniformemente accelerato	
Accelerazione angolare α ω = velocità angolare	$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
Legge oraria *(angolare)* ϑ = posizione angolare α = accelerazione angolare ω_0 = velocità angolare iniziale ϑ_0 = posizione angolare iniziale	$\vartheta = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t + \vartheta_0$
Legge della velocità *(angolare)* ω = velocità angolare α = accelerazione angolare ω_0 = velocità angolare iniziale	$\omega = \alpha t + \omega_0$
Relazione tra velocità e accelerazione angolare ω_1 = velocità angolare all'istante 1 ω_2 = velocità angolare all'istante 2 α = accelerazione angolare ϑ = posizione angolare	$\omega_2^2 - \omega_1^2 = 2\alpha\vartheta$

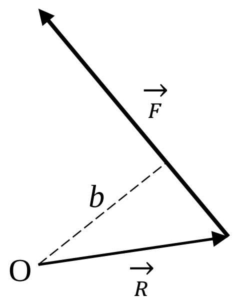
Moto armonico	
Legge oraria x = posizione R = ampiezza del moto armonico ω = velocità angolare ϑ_0 = posizione angolare iniziale	$x = R\,\mathrm{sen}\left(\omega t + \vartheta_0\right)$
Legge delle velocità v = velocità R = ampiezza del moto armonico ω = velocità angolare ϑ_0 = posizione angolare iniziale	$v = \omega R \cos\left(\omega t + \vartheta_0\right)$
Legge delle accelerazioni a = accelerazione R = ampiezza del moto armonico ω = velocità angolare ϑ_0 = posizione angolare iniziale	$a = -\omega^2 R\,\mathrm{sen}\left(\omega t + \vartheta_0\right)$
Relazione tra spazio e accelerazione *(Legge fondamentale del moto armonico)* a = accelerazione x = posizione ω = velocità angolare	$a = -\omega^2 x$

Le forze e i momenti di forze

Le forze	
Forza elastica di una molla F_e k = costante elastica della molla Δx = allungamento della molla	$F_e = -k\Delta x$
Forza di attrito dinamico A k_d = coefficiente di attrito dinamico N = forza premente ⊥ alla superficie	$A = k_d N$
Forza di attrito statico massima $A_{\max}$ k_s = coefficiente di attrito dinamico N = forza premente ⊥ alla superficie	$A_{\max} = k_s N$
Forza peso P m = massa del corpo g = accelerazione di gravità *(sulla Terra circa* $9{,}8\ \frac{m}{s}$ *)*	$P = mg$
Forza gravitazionale F G = costante di gravitazione universale $\left(6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{N \cdot m^2}{kg^2}\right)$	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$
Forza elettrica F k = costante elettrica *(nel vuoto* $9 \cdot 10^9\ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ *)*	$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$
Forza di Lorentz F q = carica elettrica $\vec{E}$ = campo elettrico $\vec{B}$ = campo magnetico	$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$
Forza esercitata tra due fili paralleli attraversati da corrente i_1 = corrente nel primo filo i_2 = corrente nel secondo filo l = lunghezza dei due fili d = distanza tra i due fili	$F = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2 l}{d}$
Attrito volvente F_A A_{av} = coefficiente di attrito volvente C = forza di carico	$F_A = A_{av} C$
Forza di Archimede A = forza (spinta) di Archimede d_l = densità del liquido g = accelerazione di gravità V_i = volume della parte immersa del corpo	$A = d_l g V_i$

<table>
<tr><th colspan="2">Momenti di forza</th></tr>
<tr><td>

Momento $\overrightarrow{M}$ di una forza rispetto ad un punto O



b = braccio della forza

$\overrightarrow{R}$ = vettore posizione della forza rispetto al punto O

</td><td>

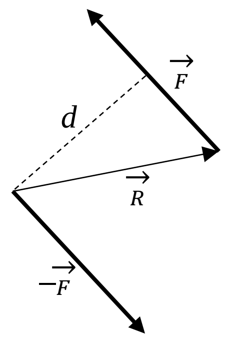
Il momento di una forza rispetto ad un punto è il vettore che ha:
per intensità il prodotto della forza per il braccio (distanza del punto dalla retta di azione della forza)
per direzione quella perpendicolare al piano individuato dalla retta della forza e dal punto
per verso quello di avanzamento di una vite destrorsa che segue la rotazione della forza attorno al punto.
In formula:

$$M = b \cdot F$$

$$\overrightarrow{M} = \overrightarrow{R} \wedge \overrightarrow{F}$$

</td></tr>
<tr><td>

Momento $\overrightarrow{M}$ di una coppia di forze



d = distanza tra le due rette di azione delle forze

$\overrightarrow{R}$ = vettore posizione della forza $\overrightarrow{F}$ rispetto al punto di applicazione della forza $-\overrightarrow{F}$

</td><td>

Il momento di una coppia di forze il vettore che ha:
per intensità il prodotto della forza per il braccio (distanza tra le rette di azione delle 2 forze)
per direzione quella perpendicolare al piano individuato dalle rette di azione delle 2 forze
per verso quello di avanzamento di una vite destrorsa che segue la rotazione delle 2 forze.

$$M = d \cdot F$$

$$\overrightarrow{M} = \overrightarrow{R} \wedge \overrightarrow{F}$$

</td></tr>
</table>

Principi della dinamica

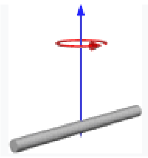
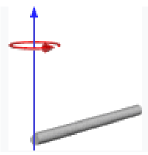
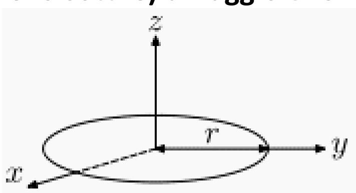
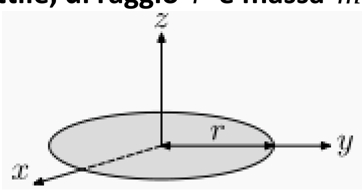
Dinamica della traslazione	
1° Principio *(principio di inerzia)*	Un corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non interviene su di esso una qualunque forza e viceversa se un corpo si trova in quiete o in uno stato di moto rettilineo uniforme, la risultante di tutte le forze applicate ad esso è nulla.
Sistema inerziale	Un sistema di riferimento si dice inerziale se in esso è valido il principio di inerzia.
Condizione di equilibrio	Un corpo è in equilibrio alla traslazione se ad esso non è applicata alcuna forza o se la risultante di tutte le forze applicate ad esso è nulla. In formula: $$\sum_i F_i = 0$$
2° Principio *(principio fondamentale)*	$$\sum F = ma$$ $$\sum_i \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}$$
3° Principio *(di azione e reazione)*	Se un corpo A esercita una forza su un corpo B, allora il corpo B esercita sul corpo A una forza di uguale intensità e di verso opposto. In formula: $$F_{BA} = -F_{AB}$$

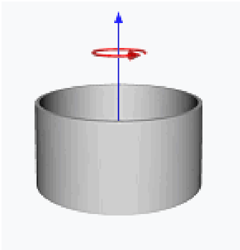
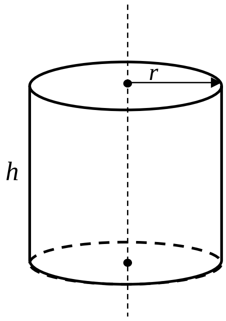
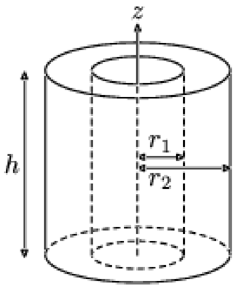
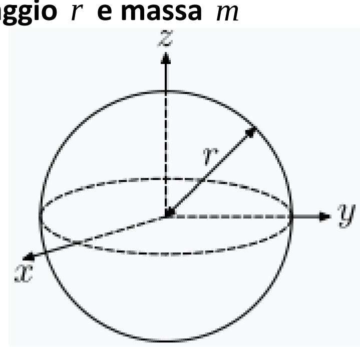
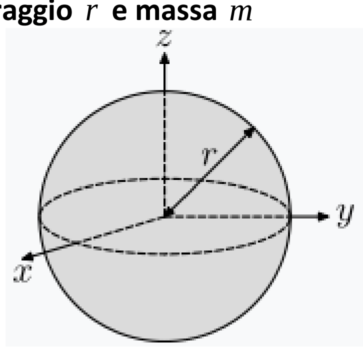
Dinamica rotazionale	
Relazioni fra grandezze angolari e grandezze tangenziali	$$s = r\vartheta$$ $$v_t = r\omega$$ $$a_t = r\alpha$$
1° Principio *(principio di inerzia alla rotazione)*	Un corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto circolare uniforme con un determinato asse di rotazione, finché non interviene su di esso una qualunque coppia di forze; viceversa se un corpo si trova in quiete o in uno stato di moto circolare uniforme, la risultante di tutte le coppie di forze applicate ad esso è nulla.
Condizione di equilibrio alla rotazione	Un corpo è in equilibrio alla rotazione se ad esso non è applicata alcuna coppia di forze o se la risultante di tutti i momenti delle coppie di forze applicate ad esso è nulla. In formula: $$\sum_i \overrightarrow{M_i} = 0$$
2° Principio *(principio fondamentale)* I = momento di inerzia α = accelerazione angolare	$$\sum M = I\alpha$$

Dinamica del corpo rigido	
Velocità angolare di un corpo rotante ω = velocità angolare ϑ = angolo della rotazione	$\bar{\omega} = \dfrac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$ $\qquad \omega = \dfrac{d\vartheta}{dt}$
Accelerazione angolare di un corpo rotante α = accelerazione angolare ω = velocità angolare	$\bar{\alpha} = \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$ $\qquad \alpha = \dfrac{d\omega}{dt}$
Centro di gravità di un sistema di corpi $\vec{r}_{cg}$ = vettore posizione del centro di gravità P_i = peso dell'i-esimo corpo puntiforme $\vec{r}_i$ = vettore posizione dell'i-esimo corpo	$\vec{r}_{cg} = \dfrac{\sum_i P_i \vec{r}_i}{\sum_i P_i}$
Centro di massa di un sistema di particelle $\vec{r}_C$ = vettore posizione del centro di massa m_i = massa dell'i-esimo corpo puntiforme $\vec{r}_i$ = vettore posizione dell'i-esimo corpo	$\vec{r}_C = \dfrac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$
Velocità del centro di massa per un sistema isolato $\vec{v}_C$ = vettore posizione del centro di massa m_i = massa dell'i-esimo corpo puntiforme $\vec{v}_i$ = vettore posizione dell'i-esimo corpo	$\vec{v}_C = \dfrac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$
Momento di inerzia di un corpo rigido rispetto ad un asse di rotazione I = momento di inerzia del corpo m_i = massa della i-esima particella puntiforme r_i = distanza della i-esima particella dall'asse	$I = \sum_{i=1}^{N} m_i r_i^2$
Lavoro compiuto dal momento di una forza W M = momento della forza ϑ = angolo della rotazione del corpo	$W = M \cdot \vartheta$
Energia cinetica rotazionale K **di un corpo rigido** I = momento di inerzia del corpo ω = velocità angolare del corpo attorno all'asse	$K = \dfrac{1}{2} I \omega^2$
Momento angolare $\vec{L}$ **di un corpo puntiforme attorno ad un punto fisso** m = massa del corpo $\vec{v}$ = velocità del corpo $\vec{r}$ = vettore posizione del corpo	$\vec{L} = m\vec{v} \wedge \vec{r}$
Momento angolare L **di un corpo rigido attorno ad un asse fisso** I = momento di inerzia del corpo ω = velocità angolare del corpo attorno all'asse	$L = I\omega$

Legge di conservazione del momento angolare L = momento angolare I = momento di inerzia del corpo ω = velocità angolare del corpo attorno all'asse	Il momento angolare totale di un sistema si conserva quando è nulla la somma dei momenti delle forze esterne che agiscono sul sistema: $\Delta L = 0$ $\qquad$ $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$
2° principio della dinamica rotazionale $\overrightarrow{M_i}$ = momento dell'i-esima forza rispetto all'asse $\vec{L}$ = momento angolare	$\sum_i \overrightarrow{M_i} = \frac{d\vec{L}}{dt}$

Momenti di inerzia

Massa puntiforme m r = distanza della massa dall'asse di rotazione	$I = mr^2$
Teorema di Huygens-Steiner *(degli assi paralleli)* Il momento d'inerzia rispetto ad un asse *a*, parallelo ad un altro *c* passante per il centro di massa, si ottiene sommando al momento di inerzia iniziale rispetto a *c* il prodotto tra la massa del corpo stesso e il quadrato della distanza *d* tra gli assi *c* ed *a*.	$I = I_c + md^2$
Due masse M **e** m **puntiformi a distanza** d	$I = \frac{mM}{m+M} d^2$
Asta di lunghezza L **e massa** m**, con asse nel suo centro di massa** 	$I = \frac{m}{12} L^2$
Asta di lunghezza L **e massa** m**, con asse passante per un estremo** 	$I = \frac{m}{3} L^2$
Circonferenza (anello sottile) di raggio r **e massa** m 	$I_z = mr^2$ $I_x = I_y = \frac{1}{2} mr^2$
Disco solido e sottile, di raggio r **e massa** m 	$I_z = \frac{1}{2} mr^2$ $I_x = I_y = \frac{1}{4} mr^2$

Superficie cilindrica sottile con estremità aperte, di raggio r **e massa** m 	$I = mr^2$
Cilindro solido di raggio r**, altezza** h **e massa** m **rispetto all'asse principale** 	$I = \frac{1}{2}mr^2$
Tubo cilindrico con pareti spesse ed estremità aperte, di raggio interno r_1**, raggio esterno** r_1**, lunghezza** h **e massa** m 	$I = \frac{1}{2}m\left(r_1^2 + r_2^2\right)$
Sfera (cava) di raggio r **e massa** m 	$I = \frac{2}{3}mr^2$
Sfera (piena) di raggio r **e massa** m 	$I = \frac{2}{5}mr^2$

Lavoro, potenza ed energia

Lavoro W **di una forza** *F* s = spostamento α = angolo tra la forza e lo spostamento	$W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$ $W = \vec{F} \times \vec{s}$
Lavoro motore: ($W > 0$)	Quando $0° < \alpha < 90°$
Lavoro resistente: ($W < 0$)	Quando $90° < \alpha < 180°$
Potenza P W = lavoro compiuto dalla forza	$P = \frac{W}{\Delta t}$
Potenza P **dissipata da un corpo che si muove a velocità costante** F = forza applicata v = velocità del corpo	$P = F \cdot v$
Energia cinetica m = massa del corpo v = velocità del corpo	$K = \frac{1}{2}mv^2$
Teorema dell'energia cinetica Il lavoro totale (W) compiuto su di un corpo è uguale alla variazione della energia cinetica (K) subita dal corpo	$W = \Delta K$ $W = \frac{1}{2}m{v_2}^2 - \frac{1}{2}m{v_1}^2$
Energia potenziale gravitazionale m = massa del corpo h = altezza del corpo rispetto al livello di riferimento	$U = mgh$
Energia potenziale elastica k = costante elastica x = allungamento della molla rispetto alla posizione di equilibrio	$U = \frac{1}{2}kx^2$
Relazione tra energia potenziale e lavoro Il lavoro (W) compiuto su di un corpo da una forza conservativa è uguale all'opposto della variazione della energia potenziale (U) subita dal corpo	$W = -\Delta U$
Conservazione dell'energia In presenza di sole forze conservative la somma dell'energia cinetica e potenziale di un corpo si conserva.	$U_2 + K_2 = U_1 + K_1$
Conservazione dell'energia in presenza di forze non conservative Il lavoro (W_{nc}) compiuto su di un corpo da una forza non conservativa è uguale alla variazione dell'energia totale subita dal corpo	$W_{nc} = E_2 - E_1$

Quantità di moto e urti

Quantità di moto di un corpo p m = massa del corpo v = velocità del corpo	$p = mv$
Quantità di moto di un sistema di corpi *P* p_i = quantità di moto dell'i-esimo corpo	$P = \sum_{i=1}^{N} p_i$
Impulso di una forza F = forza costante che agisce sul corpo Δt = intervallo di tempo in cui agisce la forza	$I = F \cdot \Delta t$
Teorema dell'impulso	$F \cdot \Delta t = m\Delta v$ (se *m* costante) *Più in generale e in forma sintetica:* $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$
2ª Legge della dinamica in forma differenziale	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$
Conservazione della quantità di moto per un sistema isolato	$\sum_{i=1}^{N} p_i$ = costante
Urto anelastico tra due corpi m_1 = massa del primo corpo m_2 = massa del secondo corpo v_1 = velocità del primo corpo prima dell'urto v_2 = velocità del secondo corpo prima dell'urto v = velocità comune dei due corpi dopo l'urto (*si conserva solo la quantità di moto*)	$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$
Urto elastico tra due corpi m_1 = massa del primo corpo m_2 = massa del secondo corpo v_1 = velocità del primo corpo prima dell'urto v_2 = velocità del secondo corpo prima dell'urto V_1 = velocità del primo corpo dopo l'urto V_1 = velocità del secondo corpo dopo l'urto (*si conservano la quantità di moto e l'energia*)	$\begin{cases} V_1 = \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2} \\ V_2 = \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2} \end{cases}$
Urto elastico particolare proiettile contro bersaglio inizialmente fermo	$\begin{cases} V_1 = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2} \\ V_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \end{cases}$
Urto elastico particolare massa proiettile = massa bersaglio	$\begin{cases} V_1 = v_2 \\ V_2 = v_1 \end{cases}$
Urto elastico particolare proiettile contro bersaglio fisso	$\begin{cases} V_1 = -v_1 \\ V_2 = 0 \end{cases}$

Ottica geometrica

Leggi della riflessione i = angolo di incidenza r = angolo di riflessione	1. Raggio incidente, raggio riflesso e normale nel punto di incidenza alla superficie riflettente giacciono sullo stesso piano 2. L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza $r = i$
Leggi della rifrazione i = angolo di incidenza r = angolo di riflessione n_{12} = indice di rifrazione relativo *(del 2° mezzo rispetto al 1°)*	1. Raggio incidente, raggio rifratto e normale nel punto di incidenza alla superficie di rifrazione giacciono sullo stesso piano 2. Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante $$\frac{\operatorname{sen}\hat{i}}{\operatorname{sen}\hat{r}} = n_{12}$$
Indice di rifrazione assoluto n_{mezzo} $n_{vuoto,mezzo}$ = indice di rifrazione relativo del mezzo rispetto al vuoto	$$n_{mezzo} = n_{vuoto,mezzo}$$
Indice di rifrazione assoluto e velocità della luce n = indice di rifrazione assoluto di un mezzo v = velocità della luce nel mezzo	$$n = \frac{c}{v}$$
Relazione tra indici di rifrazione assoluto e relativo n_{12} = indice di rifrazione relativo n_1 = indice di rifrazione assoluto *(1° mezzo)* n_2 = indice di rifrazione assoluto *(2° mezzo)*	$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$$
Legge di Snell	$$n_1 \operatorname{sen}\hat{i} = n_2 \operatorname{sen}\hat{r}$$
Indici di rifrazione relativi e velocità della luce v_1 = velocità della luce nel 1° mezzo v_2 = velocità della luce nel 2° mezzo	$$\frac{\operatorname{sen}\hat{i}}{\operatorname{sen}\hat{r}} = n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$$
Angolo limite l *Il secondo mezzo deve essere meno rifrangente del primo*	$$\operatorname{sen} l = \frac{n_2}{n_1}$$ *Se il 2° mezzo è il vuoto:* $\operatorname{sen} l = \frac{1}{n_1}$
Cammino ottico d *È la distanza che percorrerebbe la luce, attraversando uno o più mezzi, se si propagasse nello stesso tempo nel vuoto* s_i = tragitto percorso dalla luce nell'i-esimo mezzo n_i = indice di rifrazione assoluto nell'i-esimo mezzo	$$d = \sum_{i=1}^{k} s_i \cdot n_i$$

Specchi sferici

Generalità	
Relazione tra centro dello specchio e fuoco R = Raggio dello specchio f = distanza focale	$f=\dfrac{R}{2}$
Leggi dei punti coniugati f = distanza focale p = distanza dell'oggetto dallo specchio q = distanza dell'immagine dallo specchio	$\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{q}=\dfrac{1}{f}$ *se* $f<0$ *lo specchio è convesso e viceversa* *se* $p<0$ *l'oggetto è virtuale (dietro lo specchio) e viceversa* *se* $q<0$ *l'immagine è virtuale (dietro lo specchio) e viceversa*
Ingrandimento G p = distanza dell'oggetto dallo specchio q = distanza dell'immagine dallo specchio h_o = altezza dell'oggetto h_i = altezza dell'immagine	$G=\dfrac{h_i}{h_o}=-\dfrac{q}{p}$ (*se* $G<0$ *l'immagine è capovolta*)

Specchi sferici concavi		
Oggetto al di là del centro di curvatura $f>0$ $p>0$	$q>0$ $-1<G<0$	L'immagine risulta • reale • capovolta • rimpicciolita • tra centro e fuoco
Oggetto nel centro di curvatura $f>0$ $p>0$	$q>0$ $G=-1$	L'immagine risulta • reale • capovolta • con le stesse dimensioni • nel centro
Oggetto tra centro e fuoco $f>0$ $p>0$	$q>0$ $G<-1$	L'immagine risulta • reale • capovolta • ingrandita • al di là del centro
Oggetto nel fuoco $f>0$ $p>0$	$q=\infty$ $G=-\infty$	L'immagine non esiste
Oggetto tra fuoco e vertice dello specchio $f>0$ $p>0$	$q<0$ $G>1$	L'immagine risulta • virtuale • diritta • ingrandita • al di là dello specchio

Specchi sferici convessi		
Oggetto in qualunque posizione $f<0$ $p>0$	$q<0$ $0<G<1$	L'immagine risulta • virtuale • diritta • rimpicciolita • al di là dello specchio

Lenti sottili

Generalità	
Relazione tra distanza focale e raggi di curvatura della lente (formula dei fabbricanti di lenti) f = distanza focale n = indice di rifrazione assoluto della lente r_1 = Raggio di curvatura della prima superficie r_2 = Raggio di curvatura della seconda superficie	$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$ $r_i>0$ se il rispettivo centro si trova dalla parte opposta dell'oggetto rispetto alla lente
Leggi dei punti coniugati f = distanza focale p = distanza dell'oggetto dalla lente q = distanza dell'immagine dalla lente	$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$ *se* $f<0$ *la lente è divergente e viceversa* *se* $p<0$ *l'oggetto è virtuale (dietro la lente) e viceversa* *se* $q<0$ *l'immagine è virtuale (davanti alla lente) e viceversa*
Ingrandimento G p = distanza dell'oggetto dalla lente q = distanza dell'immagine dalla lente h_o = altezza dell'oggetto h_i = altezza dell'immagine	$$G=\frac{h_i}{h_o}=-\frac{q}{p}$$ (*se* $G<0$ *l'immagine è capovolta*)

Lenti sottili convergenti		
Oggetto a distanza p ($p > 2f$) $f > 0$ $p > 0$	$q > 0$ $-1 < G < 0$	L'immagine risulta • reale • capovolta • rimpicciolita • tra fuoco e doppio della distanza focale
Oggetto a distanza p ($p = 2f$) $f > 0$ $p > 0$	$q > 0$ $G = -1$	L'immagine risulta • reale • capovolta • con le stesse dimensioni • a distanza doppia della distanza focale
Oggetto a distanza p ($f < p < 2f$) $f > 0$ $p > 0$	$q > 0$ $G < -1$	L'immagine risulta • reale • capovolta • ingrandita • a distanza maggiore del doppio della distanza focale
Oggetto nel fuoco $f > 0$ $p > 0$	$q = \infty$ $G = -\infty$	L'immagine non esiste
Oggetto a distanza p ($p < f$) $f > 0$ $p > 0$	$q < 0$ $G > 1$	L'immagine risulta • virtuale • diritta • ingrandita • dalla stessa parte dell'oggetto

Lenti sottili divergenti		
Oggetto in qualunque posizione $f < 0$ $p > 0$	$q < 0$ $0 < G < 1$	L'immagine risulta • virtuale • diritta • rimpicciolita • dalla stessa parte dell'oggetto a distanza dalla lente minore della distanza focale

La gravitazione

1ª Legge di Keplero	I pianeti si muovono attorno al Sole su orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei due fuochi
2ª Legge di Keplero	Il raggio vettore di un pianeta (riferito al Sole) descrive aree uguali in tempi uguali
3ª Legge di Keplero T = periodo dell'orbita a = semiasse maggiore dell'orbita	I cubi dei semiassi maggiori delle orbite dei pianeti sono proporzionali ai quadrati dei tempi di rivoluzione. $\frac{T^2}{a^3} = \text{costante}$
Forza gravitazionale F G = costante di gravitazione universale $\left(6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}\right)$	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Velocità tangenziale *v* di un pianeta (satellite) in orbita circolare G = costante di gravitazione universale M = massa del corpo attrattore r = distanza dal corpo attrattore	$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
Periodo orbitale *T* di un pianeta (satellite) G = costante di gravitazione universale M = massa del corpo attrattore r = distanza dal corpo attrattore	$T = 2\pi\, r \sqrt{\frac{r}{GM}}$
Energia potenziale gravitazionale *U* G = costante di gravitazione universale m_1 = massa del primo corpo m_2 = massa del secondo corpo r = distanza tra i due corpi	$U = -G \frac{m_1 m_2}{r}$
Velocità di fuga *v* G = costante di gravitazione universale M = massa del corpo attrattore R = raggio del corpo attrattore	$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$
Campo gravitazionale $\vec{g}$ $\vec{F}$ = forza agente sul corpo m di prova G = costante di gravitazione universale m = massa del corpo di prova M = massa del corpo che genera il campo r = distanza tra i due corpi	$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$ $g = G \frac{M}{r^2}$

Meccanica dei fluidi

Statica	
Principio di Pascal	Una pressione esercitata su di un fluido si trasmette inalterata in ogni punto del fluido generando, sulle superfici a contatto con il fluido, delle forze perpendicolari alle medesime superfici.
Legge di Stevino p_i = pressione dovuta solo al peso dell'acqua p_0 = pressione esercitata sul liquido p = pressione totale d = densità del liquido g = accelerazione di gravità h = profondità	La pressione aggiuntiva all'interno di un fluido è direttamente proporzionale alla profondità del punto in cui si valuta la pressione $p_i = dg \cdot h$ $p = dg \cdot h + p_o$
Legge di Archimede A = forza (spinta) di Archimede d_l = densità del liquido g = accelerazione di gravità V_i = volume della parte immersa del corpo	Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso di una quantità di liquido con lo stesso volume del corpo $A = d_l g V_i$
Torchio idraulico	$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$
Vasi comunicanti h_1 = livello del primo liquido h_2 = livello del secondo liquido d_1 = densità del primo liquido d_2 = densità del secondo liquido	Se due vasi comunicanti contengono due liquidi non miscibili, i due livelli (rispetto alla quota di separazione dei due liquidi) sono inversamente proporzionali alle densità dei due liquidi $\frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}$
Condizioni di galleggiamento d_c = densità del corpo d_l = densità del liquido	Se: $d_c > d_l$ il corpo affonda $d_c = d_l$ il corpo rimane in equilibrio $d_c < d_l$ il corpo galleggia
Parte immersa di un corpo galleggiante P = peso del corpo A = forza (spinta) di Archimede d_c = densità del corpo d_l = densità del liquido V = volume del corpo V_i = volume della parte immersa del corpo	Al galleggiamento: $P = A$ $d_c g V = d_l g V_i$ cioè $V_i = \frac{d_c}{d_l} V$

Dinamica	
Flusso stazionario	Il flusso è stazionario quando la velocità delle particelle del fluido in un dato punto è costante nel tempo
Fluido ideale	Un fluido è ideale quando è incomprimibile e non viscoso
Portata q di un fluido ΔV = Volume che attraversa la sezione del condotto nel tempo Δt S = Sezione trasversale del condotto v = velocità del fluido	$q = \dfrac{\Delta V}{\Delta t}$ $q = S \cdot v$
Equazione di continuità S_A = sezione del condotto in A S_B = sezione del condotto in B v_A = velocità del fluido in A v_B = velocità del fluido in B	$S_A v_A = S_B v_B$
Equazione di Bernoulli p = pressione in un punto del condotto d = densità del fluido v = velocità del fluido nel punto g = accelerazione di gravità y = altezza del punto rispetto al livello di riferimento	$p + \frac{1}{2} dv^2 + dgy =$ costante
Effetto Venturi p_A = pressione nel punto A del condotto p_B = pressione nel punto B del condotto d = densità del fluido v_B = velocità del fluido nel punto B	$p_A = p_B + \frac{1}{2} dv_B^2$
Attrito F_A con le pareti per un liquido viscoso η = coefficiente di viscosità del fluido S = sezione del condotto v = velocità del fluido nel punto d = distanza del punto dalla parete del condotto	$F_A = \eta \dfrac{Sv}{d}$
Velocità limite v di caduta di una sfera in un fluido m = massa della sfera g = accelerazione di gravità η = coefficiente di viscosità del fluido r = raggio della sfera	$v = \dfrac{mg}{6\pi\eta r}$

Termologia e leggi dei gas

Termologia	
Dilatazione lineare: allungamento Δl e lunghezza finale l λ = coefficiente di dilatazione lineare Δt = variazione di temperatura l_1 = lunghezza iniziale t = temperatura finale l_0 = lunghezza alla temperatura di 0°C	$\Delta l = \lambda l_1 \Delta t$ $l = l_0(1+\lambda t)$
Dilatazione cubica: variazione del volume ΔV e volume finale *V* α = coefficiente di dilatazione cubica = 3λ Δt = variazione di temperatura V_1 = volume iniziale t = temperatura finale V_0 = volume alla temperatura di 0°C	$\Delta V = \alpha V_1 \Delta t$ $V = V_0(1+\alpha t)$
Legge fondamentale della termologia Q = calore assorbito o ceduto c = calore specifico della sostanza m = massa del corpo Δt = variazione di temperatura	$Q = cm\Delta t$
Fusione di un corpo Q = calore necessario per la fusione c_f = calore latente di fusione m = massa del corpo	$Q = c_f m$
Capacità termica c = calore specifico della sostanza m = massa del corpo	$C = \dfrac{Q}{\Delta t} = cm$
Conduzione di calore Q = calore trasmesso da una superficie ad un'altra uguale e ad essa parallela S = area di ciascuna delle due superfici ΔT = differenza di temperatura tra le due superfici l = distanza tra le due superfici Δt = tempo trascorso k = coefficiente di conducibilità termica	$Q = k\dfrac{S\Delta T}{l}\Delta t$
Irraggiamento – Legge di Stefan-Boltzmann ΔE = energia emessa dal corpo e = coefficiente di emissività ($0<e<1$; dipende dalla superficie) z = costante di Stefan-Boltzmann ($z = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ J/s \cdot m^2 \cdot K^4$) S = superficie del corpo che emette T = temperatura assoluta Δt = intervallo di tempo della emissione	$\Delta E = ezST^4 \cdot \Delta t$

Leggi dei gas	
1ª Legge di Volta-Gay-Lussac *Trasformazione a pressione costante (isobara)* α = coefficiente di dilatazione lineare t = temperatura finale in °C V_0 = volume alla temperatura di 0°C T = temperatura finale in °K	$V = V_0(1+\alpha t)$ $\alpha = \frac{1}{273}$ $V = \frac{V_0}{273}T$
2ª Legge di Volta-Gay-Lussac *Trasformazione a volume costante (isocora)* α = coefficiente di dilatazione lineare t = temperatura finale in °C p_0 = pressione alla temperatura di 0°C T = temperatura finale in °K	$p = p_0(1+\alpha t)$ $\alpha = \frac{1}{273}$ $p = \frac{p_0}{273}T$
Legge di Boyle *Trasformazione a temperatura costante (isoterma)* p = pressione del gas V = volume del gas k = costante *(dipendente dalla temperatura)*	$pV = k$
Equazione di stato dei gas perfetti p = pressione del gas V = volume del gas R = 8,31 J/moli·°K = cost. dei gas perfetti N = numero di molecole k = cost. di Boltzmann =$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Pa$\cdot$m^3 / °K	$pV = nRT$ $pV = NkT$

Teoria cinetica dei gas

Simboli usati e costanti	
n = numero di grammomolecole N = numero di molecole m = massa di una molecola m = massa del gas M = massa molare $M = \frac{\mathrm{m}}{n}$ (*g/mol*) $\overline{v^2}$ = velocità quadratica media	p = pressione del gas V = volume del gas T = temperatura in gradi Kelvin N_A = $6{,}02 \cdot 10^{23}$ = numero di Avogadro R = $8{,}31 \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{m}^3 / {}^\circ\mathrm{K} \cdot \mathrm{moli}$ =cost. dei gas perfetti k = $1{,}38 \cdot 10^{-23} \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{m}^3 / {}^\circ\mathrm{K}$ = cost. di Boltzmann

Teoria cinetica dei gas perfetti	
Equazione di stato dei gas perfetti	$pV = nRT$ $pV = NkT$ $\qquad k = \frac{R}{N_A}$
Equazione di Clausius	$pV = \frac{1}{3} Nm\overline{v^2}$ $\qquad pV = \frac{1}{3} nM\overline{v^2}$ $pV = \frac{1}{3}\mathrm{m}\overline{v^2}$
Energia cinetica media (di 1 molecola)	$K = \frac{3}{2}kT$
Energia cinetica totale	$pV = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}\mathrm{m}\overline{v^2}$ da cui $pV = \frac{2}{3} \cdot E_c$ $E_c = \frac{3}{2}pV$ $\qquad E_c = \frac{3}{2}nRT$
Velocità quadratica media e temperatura	$kT = \frac{1}{3}\mathrm{m}\overline{v^2}$ da cui $\bar{v} = \sqrt{\frac{3KT}{\mathrm{m}}}$ $\qquad \bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
Energia interna U	$U = \frac{3}{2}nRT$
Calore specifico molare dei gas	monoatomici: $\frac{3}{2}R$ (3 gradi libertà traslazione) biatomici: $\frac{5}{2}R$ (3 per la traslazione + 2 per la rotazione)

Termodinamica

1° principio e trasformazioni termodinamiche	
Equivalente meccanico della caloria	$1\ cal = 4{,}186\ \text{J}$ $\quad 1\ \text{k}cal = 4186\ \text{J}$ $1\ \text{J} = 0{,}2389\ cal$ $\quad 1\ \text{kJ} = 238{,}9\ cal$
1° Principio di termodinamica Q = calore assorbito dal sistema L = lavoro compiuto dal sistema ΔU = variazione di energia interna	$Q = L + \Delta U$
Trasformazione isobara *(a pressione costante)*	$Q = c_{mP} n \Delta T$ $L = P\Delta V = nR\Delta T$ $\Delta U = c_{mV} n \Delta T$
Relazione di Mayer	$c_{mP} = R + c_{mV}$
Calori specifici a volume costante: c_V a pressione costante: c_P l = n° di gradi di libertà M = massa molare (in *kg/mol*)	$c_V = \frac{l}{2}\frac{R}{M}$ $c_P = \frac{l+2}{2}\frac{R}{M}$
Calori specifici molari a volume costante: c_{mV} a pressione costante: c_{mP}	Gas monoatomico $\quad c_{mV} = \frac{3}{2}R \quad c_{mP} = \frac{5}{2}R$ Gas biatomico $\quad c_{mV} = \frac{5}{2}R \quad c_{mP} = \frac{7}{2}R$
Trasformazione isocora o isovolumica *(a volume costante)*	$Q = c_{mV} n \Delta T$ $L = 0$ $\Delta U = Q = c_{mV} n \Delta T$
Trasformazione isoterma *(a temperatura costante)*	$Q = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $L = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $\Delta U = 0$
Trasformazione adiabatica *(senza scambio di calore)*	$PV^{\gamma} = \text{costante} \qquad \gamma = \frac{c_{mP}}{c_{mV}}$ $Q = 0$ $L = -c_{mV} n \Delta T$ $\Delta U = c_{mV} n \Delta T$
Trasformazione ciclica *(lo stato finale coincide con lo stato iniziale)*	$\Delta U = 0$ L = area della figura piana racchiusa nel ciclo $Q = L$

Rendimento di una macchina termica η L = lavoro compiuto dalla macchina termica (trasformazione ciclica) Q_2 = calore assorbito dal corpo a temperatura maggiore T_2 Q_1 = calore ceduto al corpo a temperatura minore T_1	$\eta = \frac{L}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$
Rendimento per una macchina di Carnot η T_2 = temperatura del corpo più caldo T_1 = temperatura del corpo più freddo	$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$
Rendimento per una macchina di Stirling η T_2 = temperatura del corpo più caldo T_1 = temperatura del corpo più freddo	$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

2° Principio e variazione di entropia	
2° Principio della termodinamica	(**Kelvin**) – Non è possibile alcun processo ciclico il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di una equivalente quantità di calore sottratta ad un'unica sorgente (**Clausius**) – Non si può realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia il trasferimento spontaneo di calore da un corpo che si trova ad una certa temperatura ad un corpo a temperatura maggiore
Variazione di Entropia per la trasformazione AB	$\Delta S = \left(\frac{\sum_i Q_i}{T_i} \right)_{AB}$
Passaggio di stato	$\Delta S = \frac{\Delta Q_{passaggio}}{T_{passaggio}} = \frac{mc_l}{T}$
Riscaldamento da una temperatura T_1 ad una temperatura T_2	$\Delta S = cm \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$
Espansione isoterma di un gas	$\Delta S = cm \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$
Trasformazione adiabatica	$\Delta S = 0$
Trasformazione isobara	$\Delta S = c_{mP} n \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$
Trasformazione isocora	$\Delta S = c_{mV} n \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

Oscillazioni

Oscillazioni armoniche	
Equazione oraria di un moto armonico R = Ampiezza ω = Pulsazione φ = Fase	$x = R\cos(\omega t + \varphi)$ oppure $x = R\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi)$
Equazione della velocità per un moto armonico R = Ampiezza ω = Pulsazione φ = Fase	$v = R\omega\cos(\omega t + \varphi)$ oppure $x = R\omega\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi)$
Equazione della accelerazione per un moto armonico R = Ampiezza ω = Pulsazione φ = Fase	$a = R\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$ oppure $x = R\omega^2\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi)$
Relazione tra accelerazione e posizione per un moto armonico ω = Pulsazione	$a = -\omega^2 x$
Frequenza di un moto armonico f *(numero di oscillazioni in un secondo)* T = Periodo *(tempo impiegato per una oscillazione)*	$f = \frac{1}{T}$
Energia totale E **associata ad un corpo in moto armonico** m = massa del corpo v = velocità del corpo in un istante *t* k = costante elastica s = scostamento del corpo dalla posizione di equilibrio nell'istante *t*	$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}ks^2$
Periodo di un pendolo semplice T l = lunghezza del pendolo g = accelerazione di gravità	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
Periodo di un pendolo a molla T m = massa del corpo oscillante k = costante elastica della molla	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Onde armoniche	
Relazione tra lunghezza d'onda, periodo e velocità dell'onda v = velocità dell'onda λ = lunghezza d'onda f = frequenza	$v = \lambda f$
Funzione d'onda armonica s_0 = Ampiezza ω = Pulsazione v = velocità dell'onda	$s(x,t) = s_0 \operatorname{sen}\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]$
Funzione d'onda armonica s_0 = Ampiezza T = Periodo λ = lunghezza d'onda	$s(x,t) = s_0 \operatorname{sen}\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$
Fase di un'onda *(All'istante iniziale la sorgente dell'onda ha fase è 0)*	$2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$
Sfasamento di un punto rispetto alla sorgente T = Periodo λ = lunghezza d'onda	$\theta = 2\pi \frac{x}{\lambda} = 2\pi \frac{t}{T}$
Velocità di propagazione di un'onda trasversale in una corda T = Tensione applicata alla corda d_l = densità lineare della corda	$v = \sqrt{\frac{T}{d_l}}$
Velocità di propagazione di un'onda longitudinale in una molla omogenea T = Tensione applicata alla corda k = costante elastica della molla d_l = densità lineare della corda	$v = \sqrt{\frac{kL}{d_l}}$
Velocità di propagazione di un'onda longitudinale in un mezzo omogeneo B = modulo di compressione del mezzo d = densità della corda	$v = \sqrt{\frac{B}{d}}$
Velocità di propagazione di un'onda longitudinale di pressione nell'aria γ = $\frac{C_{mP}}{C_{mV}} = \frac{\text{calore specifico molare a pressione costante}}{\text{calore specifico molare a volume costante}}$ T = temperatura assoluta dell'aria M_m = massa molecolare media dell'aria	$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_m}}$
Condizione per interferenza costruttiva per 2 sorgenti in fase $x_{1,2}$ = distanza del punto dalle 2 sorgenti λ = lunghezza d'onda	$\lvert x_2 - x_1 \rvert = k\lambda$ $k \in \mathbb{N}$
Condizione per interferenza distruttiva per 2 sorgenti in fase $x_{1,2}$ = distanza del punto dalle 2 sorgenti λ = lunghezza d'onda	$\lvert x_2 - x_1 \rvert = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ $k \in \mathbb{N}$

Battimenti f = frequenza udita f_b = frequenza del battimento	$f = \frac{f_2 + f_1}{2}$ $f_b = \lvert f_2 - f_1 \rvert$

Onde stazionarie	
Funzione di un'onda stazionaria in una corda fissa ai due estremi	$s = -2s_0 \operatorname{sen}\left(2\pi \frac{x}{\lambda}\right)\cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$
Corda fissa ai due estremi λ_n = lunghezza d'onda della n-esima armonica L = lunghezza della corda v = velocità dell'onda	$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n \in \mathbb{N}_0$ $f_n = \frac{v}{2L} n \qquad n \in \mathbb{N}_0$
Corda fissa ad un estremo λ_n = lunghezza d'onda della n-esima armonica L = lunghezza della corda v = velocità dell'onda	$\lambda_n = \frac{4L}{2n+1} \qquad n \in \mathbb{N}$ $f_n = \frac{v}{4L}(2n+1) \qquad n \in \mathbb{N}$
Tubo chiuso ai due estremi λ_n = lunghezza d'onda della n-esima armonica L = lunghezza della corda v = velocità dell'onda	$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n \in \mathbb{N}_0$ $f_n = \frac{v}{2L} n \qquad n \in \mathbb{N}_0$
Tubo chiuso ad un estremo λ_n = lunghezza d'onda della n-esima armonica L = lunghezza della corda v = velocità dell'onda	$\lambda_n = \frac{4L}{2n+1} \qquad n \in \mathbb{N}$ $f_n = \frac{v}{4L}(2n+1) \qquad n \in \mathbb{N}$
Tubo aperto ai due estremi λ_n = lunghezza d'onda della n-esima armonica L = lunghezza della corda v = velocità dell'onda	$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n \in \mathbb{N}_0$ $f_n = \frac{v}{2L} n \qquad n \in \mathbb{N}_0$

Acustica

Intensità del suono I $\overline{P}$ = potenza sonora media A = area della superficie attraversata perpendicolarmente dall'onda sonora	$I = \frac{\overline{P}}{A}$
Intensità di un'onda sferica uniforme I $\overline{P}$ = potenza sonora media r = distanza del punto dalla sorgente	$I = \frac{\overline{P}}{4\pi r^2}$
Livello di intensità sonora β I = Intensità sonora I_0 = Intensità sonora minima udibile ($10^{-12}\ \mathrm{W/m^2}$)	$\beta = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$
Effetto Doppler – sorgente ferma, osservatore in moto f' = frequenza del suono percepita f = frequenza del suono emessa v = velocità del suono nel mezzo v_O = velocità dell'osservatore in moto verso la sorgente	$f' = \frac{v + v_O}{v} f$
Effetto Doppler – sorgente ferma, osservatore in moto f' = frequenza del suono percepita f = frequenza del suono emessa v = velocità del suono nel mezzo v_S = velocità della sorgente in moto verso l'osservatore	$f' = \frac{v}{v - v_S} f$
Effetto Doppler – sorgente ed osservatore in moto f' = frequenza del suono percepita f = frequenza del suono emessa v = velocità del suono nel mezzo v_S = velocità della sorgente in moto verso l'osservatore v_O = velocità dell'osservatore in moto verso la sorgente	$f' = \frac{v + v_O}{v - v_S} f$

Ottica fisica

Generalità	
Flusso di radiazione *Energia totale irraggiata per unità di tempo o flusso di potenza*	Φ
Intensità della radiazione I Φ = potenza totale irraggiata Ω = ampiezza dell'angolo solido	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$
Irraggiamento E Φ = potenza totale irraggiata S = area della superficie perpendicolare alla radiazione	$E = \frac{\Phi}{S}$
Intensità luminosa *Grandezza fotometrica che misura quanto una sorgente appaia brillante all'occhio umano tenendo conto anche del colore (Quantità di luce emessa da una sorgente all'interno di un angolo solido pari a 1 sr) (si misura in candele - cd)*	I_L
Flusso luminoso Φ_L I_L = Intensità luminosa *(si misura in cd – candele)* Ω = ampiezza dell'angolo solido	$\Phi_L = I_L \cdot \Omega$
Intensità di illuminamento E_L Φ_L = flusso luminoso S = area della superficie perpendicolare alla radiazione I_L = Intensità luminosa *(si misura in cd – candele)* Ω = ampiezza dell'angolo solido	$E_L = \frac{\Phi_L}{S}$ oppure $E_L = \frac{I_L \Omega}{S}$
Intensità di illuminamento E_L **con** Φ_L **uniforme in tutto lo spazio** I_L = Intensità luminosa *(si misura in cd – candele)* r = distanza del punto dalla sorgente	$E_L = \frac{I_L}{r^2}$
Cammino ottico d *È la distanza che percorrerebbe la luce, attraversando uno o più mezzi, se si propagasse, nello stesso tempo, nel vuoto* s_i = tragitto percorso dalla luce nell'i-esimo mezzo n_i = indice di rifrazione assoluto nell'i-esimo mezzo	$d = \sum_{i=1}^{k} s_i \cdot n_i$

Interferenza	
Condizione per interferenza costruttiva per 2 sorgenti in fase $x_{1,2}$ = distanza del punto dalle 2 sorgenti λ = lunghezza d'onda	$\|x_2 - x_1\| = k\lambda$ $k \in \mathbb{N}$
Condizione per interferenza distruttiva per 2 sorgenti in fase $x_{1,2}$ = distanza del punto dalle 2 sorgenti λ = lunghezza d'onda	$\|x_2 - x_1\| = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ $k \in \mathbb{N}$
Interfrangia I nella interferenza da doppia fenditura I = Interfrangia *(distanza tra due massimi consecutivi sullo schermo)* l = distanza tra sorgenti e schermo d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$I = \frac{l}{d}\lambda$
Interferenza da doppia fenditura *(posizione delle frange chiare)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = n\frac{1}{d}\lambda \qquad n \in \mathbb{N}$
Interferenza da doppia fenditura *(posizione delle frange scure)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{1}{d}\lambda \qquad n \in \mathbb{N}$

Diffrazione	
Larghezza banda centrale D nella diffrazione della luce l = distanza tra sorgenti e schermo d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$D = 2\frac{l}{d}\lambda$
Interfrangia I nella diffrazione I = Interfrangia *(distanza tra due massimi laterali consecutivi sullo schermo)* l = distanza tra sorgenti e schermo d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$I = \frac{l}{d}\lambda$
Diffrazione *(posizione delle frange chiare laterali)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = n\frac{1}{d}\lambda \qquad n \in \mathbb{N}$

Diffrazione *(posizione delle frange scure laterali)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = \left(n+\frac{1}{2}\right)\frac{1}{d}\lambda \qquad n\in\mathbb{N}$
Potere risolvente $\theta_{\min}$ di un dispositivo ottico D = apertura del dispositivo ottico λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\theta_{\min} = 1,22\frac{\lambda}{D}$
Interfrangia dovuta ad un reticolo di diffrazione I = Interfrangia l = distanza tra sorgenti e schermo d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$I = \frac{l}{d}\lambda$
Reticolo di diffrazione *(posizione delle frange chiare)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = n\frac{1}{d}\lambda \qquad n\in\mathbb{N}$
Reticolo di diffrazione *(posizione delle frange scure)* θ = angolo che individua la posizione di una frangia chiara d = distanza tra le due fenditure λ = lunghezza d'onda della radiazione	$\operatorname{sen}\theta = \left(n+\frac{1}{2}\right)\frac{1}{d}\lambda \qquad n\in\mathbb{N}$
Interferenza da lamine sottili $\Delta\varphi$ = sfasamento tra onda riflessa sulla 1ª superficie e quella riflessa dalla 2ª d = spessore della lamina λ = lunghezza d'onda della radiazione nel vuoto v = velocità della luce nella lamina	$\Delta\varphi = \frac{2dc}{\lambda v}$
Polarizzazione della luce E = campo elettrico che attraversa il polarizzatore E_o = campo elettrico incidente sulla superficie del polarizzatore θ = l'angolo tra l'asse di trasmissione e il piano di vibrazione del campo elettrico	$E = E_0\cos\theta$
Legge di Malus I = intensità luminosa in uscita dal filtro I_o = intensità luminosa in entrata dal filtro θ = l'angolo tra l'asse di trasmissione e il piano di vibrazione del campo elettrico	$I = I_0\cos^2\theta$

Elettrostatica

Campo elettrico	
Legge di Coulomb Interazione tra due cariche q_1 e q_2 poste nel vuoto a distanza r	$F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$ $\quad k \cong 9 \cdot 10^9$ $F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$ $\quad \varepsilon_0 \cong 8{,}85 \cdot 10^{-12}$
Legge di Coulomb in un mezzo di costante relativa ε_r	$F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$ $\quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$
Campo elettrico $\vec{E}$ $\vec{F}$ = forza agente sulla carica di prova q	$\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$
Campo elettrico generato da una carica puntiforme Q	$E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \dfrac{Q}{r^2}$
Campo elettrico generato da una lastra infinita uniformemente carica σ = densità superficiale di carica	$E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
Campo elettrico fra le armature di un condensatore piano σ = densità superficiale di carica	$E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$
Campo elettrico generato da un filo rettilineo uniformemente carico λ = densità lineare di carica	$E = \dfrac{1}{2\pi\varepsilon} \cdot \dfrac{\lambda}{r}$
Campo elettrico all'esterno di un conduttore sferico carico in modo uniforme o a simmetria sferica Q = carica sul conduttore r = raggio del conduttore	$E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \dfrac{Q}{r^2}$ *come se la carica fosse tutta concentrata nel centro della sfera*
Campo elettrico all'interno di una sfera cava o di una superficie chiusa carica	$E = 0$
Flusso del campo elettrico (costante) attraverso una superficie *S* piana $\vec{n}$ = versore normale alla superficie S α = angolo tra $\vec{n}$ ed $\vec{E}$	$\Phi_S\left(\vec{E}\right) = \vec{E} \cdot \vec{n} S$ $\Phi_S\left(\vec{E}\right) = E \cdot S \cos\alpha$
Flusso del campo elettrico (caso generale)	$\Phi_S\left(\vec{E}\right) = \sum_k \vec{E_k} \cdot \vec{n} S_k$
Teorema di Gauss Q = carica totale interna alla <u>superficie chiusa S</u>	$\Phi_S\left(\vec{E}\right) = \dfrac{Q}{\varepsilon_0}$
Densità di energia d_W **del campo elettrico** $\vec{E}$	$d_W = \dfrac{1}{2}\varepsilon E^2$

Energia potenziale elettrica e potenziale elettrostatico	
Energia potenziale $U(x)$ in un campo elettrico uniforme q = carica elettrica nel campo E = modulo del campo elettrico x = distanza della carica dal livello di riferimento	$U(x) = qEx$
Energia potenziale elettrica tra due cariche q_1 e q_2 r = distanza tra le due cariche	$U(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r}$
Potenziale elettrico V in un punto U = energia potenziale della carica q nel punto	$V = \frac{U}{q}$
Differenza di potenziale ΔV fra 2 punti A e B ΔU = differenza di energia potenziale tra i 2 punti q = carica elettrica nel campo L_{AB} = lavoro compiuto dalle forze del campo quando la carica si sposta da A a B	$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = -\frac{L_{AB}}{q}$
Potenziale elettrico in un campo centrale generato da una carica puntiforme Q r = distanza tra il punto e la carica	$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}$
Relazione tra campo elettrico e potenziale ΔV = differenza di potenziale tra due superfici equipotenziali (vicine) Δs = distanza tra le due superfici	$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s}$ $E = -\frac{dV}{ds}$

Campo elettrico e potenziale per particolari distribuzioni di cariche			
Sistema	Condizione	Campo elettrico	Potenziale
Sfera uniformemente carica di raggio R ρ = densità di carica r = distanza dal centro della sfera	$r \le R$	$\vec{E} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{r}$	$V(r) = \frac{\rho}{2\varepsilon_0}\left(R^2 - \frac{r^2}{3}\right)$
	$r > R$	$\vec{E} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\frac{R^3}{r^2}\vec{r}$	$V(r) = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{R^3}{r}\right)$
Superficie sferica uniformemente carica di raggio R ρ = densità di carica r = distanza dal centro della sfera	$r \le R$	$\vec{E} = 0$	$V(r) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}R$
	$r > R$	$\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}\frac{R^2}{r^2}\vec{r}$	$V(r) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}\left(\frac{R^2}{r}\right)$
Cilindro uniformemente carico di raggio R ρ = densità di carica R = distanza dal centro della sfera	$r \le R$	$\vec{E} = \frac{\rho}{2\pi\varepsilon_0}\vec{r}$	$V(r) = -\frac{\rho}{4\pi\varepsilon_0}R^2\left(1 + \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$
	$r > R$	$\vec{E} = \frac{\rho}{2\pi\varepsilon_0}\frac{R^2}{r}\vec{r}$	$V(r) = -\frac{\rho}{2\pi\varepsilon_0}\left(R^2 + \ln\left(\frac{r}{R}\right)\right)$

Capacità, resistenza e circuiti elettrici in corrente continua

Capacità	
Capacità *C* di un conduttore carico ΔQ = carica presente sul conduttore V = potenziale del conduttore	$C = \frac{\Delta Q}{V}$
Capacità di un conduttore sferico carico R = raggio della sfera	$C = 4\pi\varepsilon R$
Capacità di un condensatore ΔQ = carica sulle armature del condensatore ΔV = d.d.p. tra le armature del condensatore	$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V}$
Capacità di un condensatore piano in funzione delle sue caratteristiche geometriche ε = costante dielettrica S = superficie di ciascuna armatura d = distanza tra le armature	$C = \varepsilon \frac{S}{d}$
Collegamento di condensatori in serie C = capacità equivalente della serie C_i = singole capacità	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
Collegamento di condensatori in parallelo C = capacità equivalente del parallelo C_i = singole capacità	$C = C_1 + C_2$
Campo elettrico all'interno di un condensatore σ = densità superficiale di carica sulle armature ε = costante dielettrica	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$
Energia W accumulata nel condensatore Q = carica su di una armatura ΔV = d.d.p. tra le armature C = capacità del condensatore	$W = \frac{1}{2} C \cdot \Delta V^2$ $W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ $W = \frac{1}{2} Q \cdot \Delta V$
Densità di energia d_W accumulata nel condensatore	$d_W = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$
Corrente i di carica di un condensatore f_{em} = forza elettromotrice del generatore R = resistenza del circuito C = capacità del condensatore	$i(t) = \frac{f_{em}}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$
Carica Q nel processo di carica del condensatore f_{em} = forza elettromotrice del generatore R = resistenza del circuito C = capacità del condensatore	$Q(t) = Cf_{em} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$
Corrente i di scarica di un condensatore f_0 = forza elettromotrice del generatore R = resistenza del circuito C = capacità del condensatore	$i(t) = -\frac{f_{em}}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$
Carica Q nel processo di carica del condensatore f_{em} = forza elettromotrice del generatore R = resistenza del circuito C = capacità del condensatore	$Q(t) = Cf_{em} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

Resistenza elettrica	
1ª Legge di Ohm	$R = \frac{\Delta V}{i}$
2ª Legge di Ohm	$R = \rho \frac{l}{S}$
Dipendenza della resistività dalla temperatura α = coefficiente di temperatura della resistività ρ_{20} = resistività a 20 °C Δt = variazione di temperatura rispetto ai 20 °C	$\rho = \rho_{20}(1+\alpha\Delta t)$
Collegamento di resistori in serie R = resistenza equivalente della serie R_i = singole resistenze	$R = R_1 + R_2$
Collegamento di resistori in parallelo R = resistenza equivalente della serie R_i = singole resistenze	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Circuiti elettrici	
1o Principio di Kirchhoff *(dei nodi)*	La somma algebrica delle correnti entranti in un nodo è uguale zero
2o Principio di Kirchhoff *(delle maglie)*	La somma algebrica delle tensioni in una maglia di un circuito (orientato) è uguale a zero
Energia W della corrente elettrica in un conduttore i = intensità della corrente ΔV = tensione applicata Δt = intervallo di tempo	$W = i \cdot \Delta V \cdot \Delta t$
Energia W della corrente elettrica in un conduttore ohmico i = intensità della corrente R = resistenza del conduttore Δt = intervallo di tempo	$W = i^2 R \cdot \Delta t$
Potenza P dissipata dalla corrente in un conduttore ohmico i = intensità della corrente ΔV = tensione applicata R = resistenza del conduttore Δt = intervallo di tempo	$P = i^2 R$ $\quad$ $P = i\Delta V$ $P = \frac{\Delta V^2}{R}$

Magnetismo

Campo magnetico B generato da un filo rettilineo in un punto r = distanza del punto dal filo rettilineo i = intensità della corrente nel filo	$B=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{r}$
Campo magnetico B al centro di una spira circolare R = raggio della spira i = intensità della corrente nella spira	$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{i}{R}$
Campo magnetico B all'interno di un solenoide N = n° di spire del solenoide l = lunghezza del solenoide n = n° di spire per unità di lunghezza i = intensità della corrente nel solenoide	$B=\mu_0\frac{N}{l}i$ $B=\mu_0 ni$
Forza di Lorentz $\vec{F}$ q = carica in moto $\vec{v}$ = velocità della carica $\vec{B}$ = vettore del campo magnetico	$\vec{F}=q\vec{v}\wedge\vec{B}$
Forza magnetica $\vec{F}$ esercitata su un filo percorso da corrente i = intensità della corrente nel filo l = lunghezza del filo $\vec{B}$ = vettore del campo magnetico α = angolo tra la direzione di $\vec{l}$ e di $\vec{B}$	$F=ilB\,\mathrm{sen}\,\alpha$
Forza F esercitata tra due fili paralleli attraversati da corrente i_1 = corrente nel primo filo i_2 = corrente nel secondo filo l = lunghezza dei due fili d = distanza tra i due fili	$F=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2 l}{d}$
Moto di una carica in un campo magnetico r = raggio dell'orbita circolare m = massa della particella v = velocità della particella ⊥ a $\vec{B}$ q = carica della particella T = periodo dell'orbita	$r=\frac{mv}{qB}$ $T=\frac{2\pi m}{qB}$
Momento torcente $\vec{M}$ su una spira percorsa da corrente $\vec{n}$ = versore ⊥ alla superficie S i = corrente che fluisce nella spira S = superficie limitata dalla spira ϑ = angolo tra $\vec{n}$ e $\vec{B}$	$\vec{M}=iS\vec{n}\wedge\vec{B}$ $M=iSB\,\mathrm{sen}\,\vartheta$

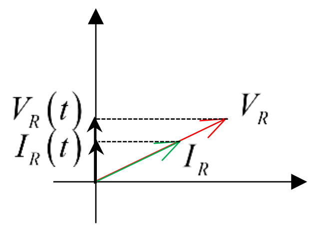
Momento magnetico $\vec{m}$ di una spira $\vec{n}$ = versore ⊥ alla superficie S i = corrente che fluisce nella spira S = superficie limitata dalla spira	$\vec{m} = iS\vec{n}$
Flusso del campo magnetico $\vec{n}$ = versore ⊥ alla superficie dS $\vec{B}$ = vettore del campo magnetico	$\Phi_S\left(\vec{B}\right) = \int \vec{B} \cdot \vec{n}\, dS$
Teorema di Gauss per il Campo magnetico *(flusso di $\vec{B}$ attraverso una superficie chiusa)*	$\Phi_S\left(\vec{B}\right) = 0$
Circuitazione $\Gamma_l\left(\vec{B}\right)$ del campo magnetico lungo una linea chiusa l	$\Gamma_l\left(\vec{B}\right) = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$
Teorema di Ampère *(circuitazione di $\vec{B}$ lungo una linea chiusa)*	$\Gamma_l\left(\vec{B}\right) = \mu_0 \sum_k i_k$
Permeabilità magnetica relativa B = campo magnetico nella sostanza considerata B_0 = campo magnetico nel vuoto	$\mu_r = \frac{B}{B_0}$

Induzione elettromagnetica

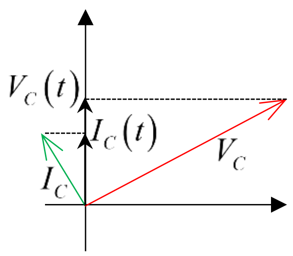
Legge di Faraday-Neumann	$f_{em} = -\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$ oppure $f_{em} = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt}$
ΔV **ai capi di una sbarra in moto** con velocità v su due binari in un campo magnetico uniforme *B* perpendicolare alla sbarra	$\Delta V = Blv$
Induttanza *L* di un solenoide μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto μ_r = permeabilità relativa del mezzo N = n° di spire del solenoide l = lunghezza del solenoide S = sezione del solenoide	$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} S$
Induttanza di un circuito L $\Phi(\vec{B})$ = Flusso di $\vec{B}$ concatenato con il circuito i = corrente che fluisce nel circuito	$L = \frac{\Phi(\vec{B})}{i}$
Forza elettromotrice autoindotta f_{em} L = induttanza del circuito i = corrente che fluisce nel circuito	$f_{em} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$ $f_{em} = -L\frac{di}{dt}$
Energia W **immagazzinata in un induttore** L = induttanza del circuito I = corrente che fluisce nel circuito a regime	$W = \frac{1}{2}LI^2$
Densità di energia δ_W **del campo magnetico** B = campo magnetico μ_0 = permeabilità magnetica (nel vuoto)	$\delta_W = \frac{B^2}{2\mu_0}$
Extracorrente di chiusura $i(t)$ **in un circuito** RL f_0 = tensione applicata τ = costante di tempo	$i(t) = \frac{f_0}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ *con* $\tau = \frac{L}{R}$
Extracorrente di apertura $i(t)$ **in un circuito** RL f_0 = tensione applicata τ = costante di tempo	$i(t) = \frac{f_0}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$ *con* $\tau = \frac{L}{R}$
F.e.m. indotta f_{em} **generata da una spira rotante** ω = velocità angolare della spira B = campo magnetico S = superficie della spira	$f_{em} = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt} = \omega BS \sin \omega t = f_0 \sin \omega t$
Corrente indotta i generata da una spira rotante f_0 = tensione massima applicata ω = velocità angolare della spira R = resistenza del circuito i_0 = valore massimo della corrente	$i = \frac{f_0}{R}\sin \omega t = i_0 \sin \omega t$

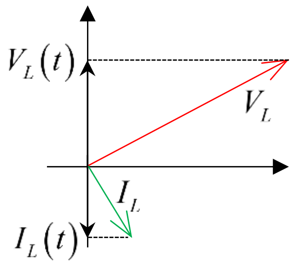
Circuiti elettrici in corrente alternata

Circuito puramente resistivo

Tensione $V_R(t)$ **ai capi della resistenza** R V_R = valore massimo della tensione ai capi di R ω = pulsazione della corrente del generatore	$V_R(t) = V_R\,\text{sen}(\omega t)$
Corrente $I_R(t)$ **ai capi della resistenza** R I_R = valore massimo della corrente ai capi di R ω = pulsazione della corrente del generatore	$I_R(t) = \frac{V_R}{R}\,\text{sen}(\omega t)$ $I_R(t) = I_R\,\text{sen}(\omega t)$
Relazione tra tensione $V_R(t)$ **e corrente** $I_R(t)$ V_R = valore massimo della tensione ai capi di R I_R = valore massimo della corrente ai capi di R	$V_R(t) = I_R(t) \cdot R$ e quindi anche $V_R = I_R \cdot R$
Diagramma dei vettori di fase La corrente è in fase rispetto alla tensione	

Circuito completamente capacitivo

Tensione $V_C(t)$ **ai capi del condensatore** V_C = valore massimo della tensione ai capi del condensatore di capacità C ω = pulsazione della corrente del generatore	$V_C(t) = V_C\,\text{sen}(\omega t)$
Corrente $I_C(t)$ **ai capi del condensatore** I_C = valore massimo della corrente alternata che attraversa il condensatore ω = pulsazione della corrente del generatore $X_C = \frac{1}{\omega C}$ *(reattanza capacitiva)*	$I_C(t) = \omega C V_C \cos(\omega t)$ $I_C(t) = \frac{V_C}{X_C}\cos(\omega t)$ $I_C(t) = \frac{V_C}{X_C}\,\text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$
Relazione tra tensione $V_C(t)$ **e corrente** $I_C(t)$ V_C = valore massimo della tensione ai capi del condensatore di capacità C I_C = valore massimo della corrente alternata che attraversa il condensatore $X_C = \frac{1}{\omega C}$ *(reattanza capacitiva)*	$V_C(t) = I_C(t) \cdot X_C$ e quindi anche $V_C = I_C \cdot X_C$
Diagramma dei vettori di fase La corrente è in <u>anticipo</u> rispetto alla tensione con uno sfasamento di 90°	

Circuito completamente induttivo	
Tensione $V_L(t)$ ai capi dell'induttanza V_L = valore massimo della tensione ai capi della bobina di induttanza L ω = pulsazione della corrente del generatore	$V_L(t) = V_L\,\mathrm{sen}(\omega t)$
Corrente $I_L(t)$ ai capi dell'induttanza I_L = valore massimo della corrente alternata che attraversa la bobina ω = pulsazione della corrente del generatore X_L = ωL (reattanza induttiva)	$I_L(t) = -\frac{V_L}{\omega L}\cos(\omega t)$ $I_L(t) = -\frac{V_L}{X_L}\cos(\omega t)$ $I_L(t) = \frac{V_L}{X_L}\,\mathrm{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$
Relazione tra tensione $V_L(t)$ e corrente $I_L(t)$ V_L = valore massimo della tensione ai capi della bobina di induttanza *L* I_L = valore massimo della corrente alternata che attraversa la bobina X_L = ωL *(reattanza induttiva)*	$V_L(t) = I_L(t)\cdot X_L$ e quindi anche $V_L = I_L \cdot X_L$
Diagramma dei vettori di fase La corrente è in ritardo rispetto alla tensione con uno sfasamento di 90°	

Trasformatori	
Tensione V_S nel secondario N_S = n° di spire nel secondario N_P = n° di spire nel primario V_P = tensione nel primario	$V_S = \frac{N_S}{N_P} V_P$
Corrente I_S nel secondario N_S = n° di spire nel secondario N_P = n° di spire nel primario I_P = corrente nel primario	$I_S = \frac{N_S}{N_P} I_P$
Resistenza equivalente R_{eq} del circuito (vista dal generatore) N_S = n° di spire nel secondario N_P = n° di spire nel primario R_S = resistenza nel circuito secondario	$R_{eq} = \left(\frac{N_S}{N_P}\right)^2 R_S$

Circuito RLC in serie	
Tensione $V(t)$ del generatore V = valore massimo della tensione applicata dal generatore ω = pulsazione della corrente del generatore	$V(t) = V\,\text{sen}(\omega t)$
Corrente $I(t)$ nel circuito I = valore massimo della corrente alternata nel circuito ω = pulsazione della corrente del generatore φ = sfasamento tra tensione applicata e corrente nel circuito	$I(t) = I\,\text{sen}(\omega t - \varphi)$
Impedenza Z R = resistenza del circuito X_L = reattanza induttiva X_C = reattanza capacitiva	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
Intensità massima della corrente I V = valore massimo della tensione applicata dal generatore Z = impedenza del circuito	$I = \frac{V}{Z}$
Costante di fase φ R = resistenza del circuito X_L = reattanza induttiva X_C = reattanza capacitiva Z = impedenza del circuito	$\tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$ $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$
Pulsazione di risonanza ω L = induttanza del circuito C = capacità del circuito	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
Corrente efficace I_{eff} I = valore massimo della corrente alternata nel circuito	$I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}}$
Tensione efficace V_{eff} V = valore massimo della tensione applicata dal generatore	$V_{eff} = \frac{V}{\sqrt{2}}$
Potenza media $\overline{P}$ dissipata nel resistore del circuito I = valore massimo della corrente alternata nel circuito R = resistenza del circuito φ = sfasamento tensione corrente $\cos\varphi$ (fattore di potenza)	$\overline{P} = \frac{1}{2} I^2 \cdot R$ $\quad$ $\overline{P} = I_{eff}^{\ 2} \cdot R$ $\overline{P} = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos\varphi$

Il campo elettromagnetico

Generalità	
Equazioni di Maxwell	$\Phi_S\left(\vec{E}\right)=\frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$ $\Phi_S\left(\vec{B}\right)=0$ $\Gamma_L\left(\vec{E}\right)=-\frac{\Delta\Phi\left(\vec{B}\right)}{\Delta t}$ $\Gamma_L\left(\vec{B}\right)=\mu_0\left(i+\varepsilon_0\frac{\Delta\Phi\left(\vec{E}\right)}{\Delta t}\right)$
Equazioni di Maxwell in forma differenziale	$\int_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$ $\int_S \vec{B}\cdot d\vec{S}=0$ $\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l}=-\frac{d\Phi\left(\vec{B}\right)}{dt}$ $\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\left(i+\varepsilon_0\frac{d\Phi\left(\vec{E}\right)}{dt}\right)$
Velocità di propagazione v delle onde elettromagnetiche c = velocità della luce nel vuoto ε_0 = costante dielettrica del vuoto μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto	$v=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ $\quad$ $v=c$
Indice di rifrazione n di un mezzo ε_0 = costante dielettrica del vuoto μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto	$n=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$
Relazione tra $\vec{E}$ e $\vec{B}$ in un punto dell'onda c = velocità della luce nel vuoto	$E=cB$ $\quad$ $\vec{E}\perp\vec{B}$

Energia di un'onda armonica elettromagnetica	
Densità (volumica) di energia media $\bar{u}$ E_0 = campo elettrico massimo B_0 = induzione magnetica massima ε_0 = costante dielettrica del vuoto μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto	$\bar{u}=\frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2$ $\bar{u}=\frac{1}{2}\frac{B_0^2}{\mu_0}$
Energia media che investe perpendicolarmente una superficie S **in un tempo** Δt	$\Delta U=\bar{u}Sc\Delta t$
Intensità di un'onda elettromagnetica E_R **(Irradiamento)** ΔU = Energia che arriva perpendicolarmente alla superficie S nel tempo Δt	$E_R=\frac{\Delta U}{S\cdot\Delta t}$
Irradiamento E_R **e densità di energia** $\bar{u}$ ΔU = Energia che arriva perpendicolarmente alla superficie S nel tempo Δt	$E_R=\frac{\Delta U}{S\cdot\Delta t} \quad \rightarrow \quad E_R=\bar{u}\cdot c$
Irradiamento E_R **e campi elettrico** $\vec{E}$ **e magnetico** $\vec{B}$	$E_R=\frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2\cdot c \qquad E_R=\frac{1}{2}\frac{B_0^2}{\mu_0}\cdot c$
Potenza complessiva P **della sorgente che emette in modo uniforme in tutte le direzioni** ΔU = Energia che arriva perpendicolarmente sulla superficie S nel tempo Δt R = Distanza della superficie dalla sorgente	$P=\frac{\Delta U}{S\cdot\Delta t}\cdot 4\pi R^2 \qquad P=\bar{u}\cdot c\cdot 4\pi R^2$

Quantità di moto e pressione di radiazione	
Variazione della quantità di moto Δp **per <u>superfici completamente assorbenti</u>** ΔU = Energia che arriva perpendicolarmente alla superficie S nel tempo Δt $\bar{u}$ = densità di energia	$\Delta p=\frac{\Delta U}{c}=\bar{u}\cdot S\cdot\Delta t$
Pressione P **di radiazione per <u>superfici completamente assorbenti</u>** Δp = variazione della quantità di moto $\bar{u}$ = densità di energia	$F=\frac{\Delta p}{\Delta t} \qquad F=\bar{u}\cdot S$ $P=\bar{u}$
Variazione della quantità di moto Δp **per superfici completamente riflettenti** S c = velocità della luce nel vuoto $\bar{u}$ = densità di energia	$\Delta p=\frac{2\Delta\bar{u}}{c}=2\bar{u}\cdot S\cdot\Delta t$
Pressione P **di radiazione per <u>superfici completamente riflettenti</u>** $\bar{u}$ = densità di energia	$P=2\bar{u}$

Relatività

Cinematica relativistica	
Equazioni di trasformazione di Lorentz $\beta = \frac{v_0}{c}$ v_0 nella direzione dell'asse x	$\begin{cases} x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \beta \frac{x}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases}$
Relazioni tra intervalli spaziali e temporali $\beta = \frac{v_0}{c}$ v_0 nella direzione dell'asse x	$\begin{cases} \Delta x' = \frac{\Delta x - v_0 \Delta t}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ \Delta t' = \frac{\Delta t - \beta \frac{\Delta x}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases}$
Invariante I *(intervallo spazio-temporale)* c = velocità della luce nel vuoto Δt = separazione temporale Δx = separazione spaziale	$I^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2$
Dilatazione temporale Δt_0 = intervallo di tempo proprio $\beta = \frac{v_0}{c}$ $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ $\Delta t = \gamma \Delta t_0$
Contrazione delle lunghezze L_0 = lunghezza propria $\beta = \frac{v_0}{c}$ $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$L = L_0 \sqrt{1-\beta^2}$ $L = \frac{L_0}{\gamma}$
Composizione relativistica delle velocità *(moti lungo la stessa direzione)*	$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v' v_0}{c^2}}$

Dinamica relativistica	
Massa relativistica m m_0 = massa a riposo	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$
Quantità di moto relativistica $\vec{p}$ m_0 = massa a riposo	$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}$
Energia totale relativistica di un corpo in moto	$E = mc^2$ $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$
Energia a riposo	$E_0 = m_0 c^2$
Energia cinetica relativistica	$K = E - E_0$ $K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$
Invariante energia-quantità di moto *(Enermoto)*	$\left(\frac{E}{c} \right)^2 - p^2 = m_0{}^2 c^2$
Relazione tra energia e quantità di moto	$\frac{E}{p} = \frac{c^2}{v}$

Il corpo nero, effetto fotoelettrico ed effetto Compton

Costanti	
σ = Costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 K^4}$
k = Costante nella legge di Wien	$k = 2{,}898 \cdot 10^{-3}\, mK$
h = Costante di Plank	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\, J \cdot s$

Il corpo nero	
Legge di Stefan-Boltzmann E = Energia totale irraggiata dal corpo nero T = temperatura assoluta	$E = \sigma T^4$
Legge di spostamento di Wien λ_P = lunghezza d'onda corrispondente al massimo di emissione	$\lambda_p \cdot T = k$
Postulato di Plank E = Energia scambiata tra corpo nero e radiazione f = frequenza della radiazione	$E = hf$
Distribuzione spettrale dell'intensità della radiazione emessa da un corpo nero in funzione di λ e della temperatura assoluta T h = costante di Plank k_B = costante di Boltzmann c = velocità della luce	$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$

Effetto fotoelettrico ed effetto Compton	
Soglia minima di frequenza f_0 per l'estrazione di un elettrone da un metallo per effetto fotoelettrico W_e = lavoro di estrazione del metallo	$f_0 = \frac{W_e}{h}$
Energia di un elettrone emesso per effetto fotoelettrico K = energia cinetica massima dell'elettrone emesso f = frequenza della radiazione incidente f_0 = frequenza di soglia	$K = hf - W_e$ $\frac{1}{2} mv^2 = hf - hf_0$
Effetto Compton λ' = lunghezza d'onda del fotone diffuso λ = lunghezza d'onda del fotone incidente h = costante di Plank m_0 = massa dell'elettrone a riposo ϑ = angolo di scattering	$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\vartheta)$

Spettri elettromagnetici ed atomo di idrogeno

Costanti		
R_H	= Costante di Rydberg	$R_H = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$
h	= Costante di Plank	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
e	= carica dell'elettrone	$e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$

Atomo di idrogeno	
Spettro dell'atomo di idrogeno f = frequenze delle righe spettrali c = velocità della luce m, n = numeri interi con $n > m$	$f = cR_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$
Energia totale dell'atomo di idrogeno U = energia potenziale K = energia cinetica ε_0 = costante dielettrica del vuoto e = carica dell'elettrone r = raggio dell'orbita	$E_{TOT} = U + K = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}$
Condizione di quantizzazione di Bohr r_n = raggio della n-esima orbita p_n = quantità di moto dell'elettrone n = numero quantico principale	$2\pi \cdot r_n p_n = nh$
Raggio delle orbite permesse nel modello di Bohr r_n = raggio della n-esima orbita m_e = massa dell'elettrone e = carica dell'elettrone n = numero quantico principale	$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} n^2$
Livelli di energia delle orbite quantizzate secondo il modello di Bohr m_e = massa dell'elettrone e = carica dell'elettrone n = numero quantico principale	$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$ $E_1 = 13,6\ eV$