

UNIMORE-FIM INFORMATICA

Fisica

Appunti

Lorenzo Balugani (@EvilBalu)

Terzo semestre

INTRODUZIONE

Definizione: Grandezza Fisica

Si definisce grandezza fisica qualsiasi proprietà misurabile di un fenomeno, corpo o sostanza che può essere distinta qualitativamente e determinata qualitativamente mediante un numero (o vettore) in assegnate unità di misura e in prefissato riferimento. Le grandezze possono essere o fondamentali (unità definite da costanti fondamentali della fisica) o derivate (ricavabili da operazioni tra grandezze fondamentali). Per ogni grandezza fisica è possibile definire la dimensione e il valore.

ANALISI DIMENSIONALE DI UNA RELAZIONE TRA GRANDEZZE FISICHE

Conoscendo la grandezza fisica di uscita, si può verificare che le grandezze di misura dell'equazione siano equivalenti. Ad esempio, sapendo che la unità di misura è il metro al secondo ($\frac{m}{s}$), possiamo verificare questa cosa con la formula

per il calcolo della velocità media: $\left[\frac{m}{s}\right] = \frac{[m]}{[s]}$, il che ovviamente è corretto. Oppure: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, $[T] = \frac{\sqrt{[L]}}{\frac{[L]}{[T]^2}} = [T]$. I

numeri adimensionali si ottengono quando si fa un rapporto tra grandezze equivalenti (basti pensare al rapporto tra due temperature). E' fondamentale l'uso della notazione scientifica.

Definizione: Cifre significative

Le cifre significative sono tutte le cifre conosciute con precisione del valore numerico di una grandezza, cioè quelle che si conoscono in modo attendibile, più quella che viene stimata.

Quando si sommano, sottraggono e simili due grandezze, la cifra significativa da tener conto è quella del valore con la minore precisione in quella operazione.

APPROCCIO SCIENTIFICO AL PROBLEM SOLVING

1. Provare a tracciare un disegno del sistema fisico
2. Identificare l'ambito dei fenomeni e delle leggi matematiche e fisiche
3. Riflettere quali principi fisici possono essere applicati al problema
4. Si suggerisce di sostituire il più tardi possibile le lettere delle formule (verificare che le grandezze facciano parte dello stesso sistema)
5. Scrivete il risultato, con affiancata la unità di misura, e cercate di capire se il risultato ha senso o meno

Per i grafici, si pone la variabile dipendente in y e la variabile indipendente x.

MECCANICA

La meccanica si occupa di studiare come i corpi interagiscono e come queste interazioni possono modificare il movimento degli oggetti stessi. Una interazione può essere descritta in termini di due forze, esercitate dai due corpi.

LE FORZE

Una forza è una grandezza fisica vettoriale che si manifesta nell'interazione di due o più corpi. Le forze possono essere o a contatto (attrito) o a lungo raggio (magnetismo), sebbene le forze a contatto siano il risultato di forze a lungo raggio che si sviluppano tra gli atomi dei due corpi. Le forze fondamentali sono:

- Forza gravitazionale (meccanica), agisce tra due masse
- Forza elettrica (elettromagnetismo), agisce tra particelle cariche
- Forza nucleare debole, ha un ruolo in reazioni nucleari
- Forza nucleare forte, tiene insieme i nuclei atomici

Tutte le forze fondamentali sono a lungo raggio, con tutte le altre forze che derivano da queste interazioni.

Le forze si possono misurare mediante strumenti, e dato che sono grandezze vettoriali dobbiamo definire la direzione e il verso di questa forza, oltre al suo valore (a differenza degli scalari). L'unità di misura della forza è il Newton (N).

Il vettore si indica in grassetto, o con una freccia sopra ($\mathbf{F}, F^{\rightarrow}$), il modulo si scrive come $F, |\mathbf{F}|$ oppure $|F^{\rightarrow}|$, mentre la direzione viene indicata in gradi specificando un asse di riferimento. Ricorrere alla regola del parallelogramma per ottenere il valore della somma tra vettori, mentre si deve ricorrere al prodotto scalare per moltiplicare uno scalare ad un vettore di modulo ($|F^{\rightarrow}| * |n|$), direzione equivalente a quella di partenza e verso legato al segno del modulo.

Una tecnica per esaminare i vettori è quella di eseguire la scomposizione di un vettore nelle sue componenti cartesiane, ovvero scomporre il vettore V^{\rightarrow} nelle sue componenti V_y^{\rightarrow} (componente lungo l'asse y) e V_x^{\rightarrow} (componente lungo l'asse x). Si prende il vettore V^{\rightarrow} e lo si colloca all'origine di un sistema cartesiano, e si identificano le sue componenti tracciando rette parallele all'asse x e all'asse y la cui intersezione con gli assi x e y determinano V_y^{\rightarrow} e V_x^{\rightarrow} . Si ha che $V^{\rightarrow} = V_x^{\rightarrow} + V_y^{\rightarrow}$ e che $|V_x^{\rightarrow}| = |V^{\rightarrow}| * \cos \alpha, |V_y^{\rightarrow}| = |V^{\rightarrow}| * \sin \alpha$.

Definizione: Versore

Un versore è un vettore dal modulo unitario, una direzione e un verso, che rappresenta una direzione orientata. Vengono rappresentati con \hat{i} .

Definito il versore, abbiamo che $V_x^{\rightarrow} = V_x * \hat{i}, V_y^{\rightarrow} = V_y * \hat{j}$ dove andiamo quindi a moltiplicare gli scalari V_x e V_y per il rispettivo versore, ottenendo un vettore.

Esercizio:

Vettore A, modulo 5, direzione e verso dell'asse x

Vettore B, modulo 3, angolo 120°

Vettore C = A+B, viene richiesto di calcolarlo

Utilizzo il metodo del parallelogramma, e inizio a calcolare le componenti cartesiane

$C_x = A_x + B_x, C_y = A_y + B_y$, dato che A è parallelo all'asse y, abbiamo che $A^{\rightarrow} \Rightarrow (A_x = 5m, A_y = 0)$

Per ottenere i dati di B devo ricorrere alla trigonometria (sapendo che $180-120=60^\circ$): $B_y = B * \sin 60 = 2.60m, B_x = -B * \cos 60 = -1.50m$, quindi $B^{\rightarrow} \Rightarrow (B_x = -1.50m, B_y = 2.60m)$. C sarà quindi $C = |C^{\rightarrow}| = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = 4.36m$, il cui angolo è $\tan \theta = \frac{C_y}{C_x} = 0.7429, \tan^{-1} 0.7429 = 36.6^\circ$.

Definizione: Vettore opposto

Il vettore $-V^{\rightarrow}$ è detto vettore opposto di V^{\rightarrow} , che ha stesso modulo e stessa direzione di V, ma verso opposto. La differenza tra vettori viene quindi vista come la somma di due vettori, in cui uno è il vettore opposto del suo originale ($u^{\rightarrow} + (-v^{\rightarrow})$).

LEGGI DELLA DINAMICA

La meccanica classica si compone di 3 leggi + 1 equazione (gravitazione universale). Le leggi della dinamica sono dei postulati, e per questo non vanno dimostrati.

1. Principio di inerzia: "Se un corpo puntiforme non è soggetto a forze o è soggetto a forze con risultante nulla, allora la sua velocità non cambia mai nel tempo.". L'inerzia è una misura della resistenza di un corpo a cambiamenti del suo stato di moto. Un corpo puntiforme viene definito come un'astrazione del corpo stesso, per semplificare i calcoli. Questo indica che ad un corpo se non viene applicata una forza il corpo sta fermo, mentre in assenza di attrito il corpo va avanti per inerzia. Il principio di inerzia non vale nei sistemi di riferimento non inerziali (ad esempio automobile che frena o accelera).

Definizione: Sistemi inerziali e non inerziali

In sistemi sotto accelerazione (positiva o negativa) l'inerzia non vale, in quanto prendono gioco forze apparenti.

2. Si chiama forza risultante la somma vettoriale $\Sigma \mathbf{F}$ di tutte le forze applicate ad un corpo. La forza risultante agente su un corpo è direttamente proporzionale all'accelerazione del corpo. La costante di proporzionalità è detta massa inerziale del corpo. $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$.
3. Principio di azione/reazione: "Quando due corpi interagiscono, le forze esercitate l'uno sull'altro sono sempre uguali in modulo e opposte in direzione contraria".

Legge: Legge di gravità

La gravità è una forza a lungo raggio sempre attrattiva, la cui intensità è stabilita dalla seguente equazione $F = \frac{GM_1M_2}{r^2}$, dove r è la distanza tra le due masse e $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ e, inoltre, è inversamente proporzionale alla distanza (se la distanza raddoppia, la forza diventa $\frac{1}{4}$) e direttamente proporzionale alla massa.

Definizione: Forza peso

Sia M_E la massa della terra. La forza peso che agisce sulla massa M_2 è così definita: $w = \left(\frac{GM_E}{r_E^2}\right) * M_2$ dove $\left(\frac{GM_E}{r_E^2}\right) = 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 9.8 \text{ m/s}^2$ vicino alla superficie della terra. 9.8 m/s^2 è quindi una costante, e viene indicata con il simbolo g , e prende il nome di accelerazione gravitazionale o intensità gravitazionale. "g" dipende solo dalla massa della terra, mentre w dipende sia da g che dalla massa dell'oggetto interessato.

Definizione: Campo gravitazionale

Possiamo vedere $w = g * m$ come una forza che agisce in una zona di spazio ben definita (nelle vicinanze della crosta terrestre), con questa zona che prende il nome di campo gravitazionale terrestre. Un campo quindi è una zona di spazio all'interno della quale un corpo percepisce una determinata forza. Il campo gravitazionale dipende solo dalla massa del corpo che produce gli effetti gravitazionali.

FORZE DI CONTATTO

Definizione: Forza normale

Forza che agisce in direzione perpendicolare alla superficie di appoggio tra due corpi. Ad esempio, quando appoggiamo un libro sul tavolo la forza di gravità del libro va verso il basso. A questa si contrappone la forza normale, che genera una risultante uguale a 0 (la forza normale è uguale ma di verso opposto a quella esercitata sul corpo). Il suo simbolo è N .

Definizione: Forza di attrito statico

Forza parallela al piano di appoggio, che si oppone ad ogni moto. E' definita come $f_s = \mu_s N$, dove μ_s è il coefficiente di attrito statico. Se la forza esercitata è minore di f_s , l'oggetto non si muove.

Definizione: Attrito dinamico

L'attrito dinamico è così calcolato: $f_k = \mu_k N$, dove μ_k è il coefficiente di attrito dinamico, con $\mu_k < \mu_s$ ed è una forza che si oppone ad una forza una volta che l'oggetto è in movimento (quindi una volta che ha superato l'attrito statico). Più rarefatta è la materia, minore è l'attrito (attrito nei liquidi molto maggiore).

Definizione: Tensione

La tensione è la forza trasmessa attraverso una fune da un estremo all'altro. In questo modo si sposta anche il punto di applicazione mediante la fune, il cui modello ideale è una corda di massa trascurabile, indeformabile e che ha tensione omogenea.

Definizione: Forza elastica

La forza elastica viene calcolata con $F = -kx$, dove k è il coefficiente elastico della molla e x è di quanto la molla viene deformata (legge di Hooke). Il - nella formula indica la sua particolarità, ovvero che si tratta di una forza di richiamo. In assenza di attrito la forza elastica genera un moto periodico

Definizione: Moto periodico

Moto le cui caratteristiche si ripetono dopo un determinato lasso di tempo T , detto periodo.

ACCELERAZIONE

Prima di procedere, riprendiamo il concetto di sistema di riferimento. Un sistema di riferimento in fisica è uno strumento per misurare la posizione di un oggetto nello spazio e nel tempo, il che si traduce in un sistema di assi cartesiani in cui il vettore $(OP)^{\rightarrow}(t)$ indica la posizione di un oggetto in un determinato istante t . Il vettore posizione varia a seconda del sistema di riferimento, e quindi il problema è: come scelgo il sistema di riferimento più appropriato? Si sceglie quello più semplice. Se facciamo cadere una pallina in un sistema di riferimento fermo, la pallina ha moto verticale. Se è in movimento, è parabolico, in quanto oltre alla forza di gravità c'è anche quella impressa dal moto. La posizione r di un oggetto puntiforme descrive la sua collocazione spaziale rispetto all'origine del sistema degli assi (punto di riferimento). Lo spostamento rappresenta la variazione di posizione dell'oggetto e dipende solo dalle posizioni iniziale e finale.

Definizione: Velocità

La velocità è un vettore che misura quanto rapidamente e in quale direzione orientata un oggetto si muove, ed è una grandezza derivata (tempo e spazio). Si definisce velocità media $V_{AV} = \left(\frac{\Delta r^{\rightarrow}}{\Delta t}\right)$, ovvero lo spostamento diviso il tempo impiegato. La velocità istantanea, invece, è la velocità che un determinato oggetto ha in un determinato istante t . Cosa accade quando Δt tende a 0, ovvero quando ci avviciniamo alla velocità istantanea (nell'istante i)? Si ha che $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r^{\rightarrow}}{\Delta t} = v^{\rightarrow}(i)$, in quanto non solo il Δt si riduce, ma anche il conseguente spostamento, e questa è quindi la definizione di velocità istantanea ($\Delta r^{\rightarrow} = r_f^{\rightarrow} - r_i^{\rightarrow}$).

E' possibile realizzare un moto che, in funzione del tempo, rappresentare la distanza da i vari assi in un determinato tempo (in pratica si prende il grafico della traiettoria (in cui le var ind. Sono x,y,z) e si realizza un grafico a parte con in y l'asse rappresentato e in x il tempo, e se ne realizza uno per ogni asse del sistema di riferimento (variabile indipendente = t)) che prende il nome di legge oraria. Qui la velocità è rappresentata dalla pendenza della tangente in un punto p.

L'unità di misura della velocità media è il m/s

Definizione: Accelerazione

Se la velocità cambia nel tempo, si dice che il moto è accelerato, ovvero che il corpo soggetto al moto accelera. Un'accelerazione non nulla è in grado di cambiare lo stato di un corpo.

L'accelerazione media viene definita come $a_{av} = \frac{\Delta v^{\rightarrow}}{\Delta t}$, e quella istantanea come $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v^{\rightarrow}}{\Delta t} = \frac{dv^{\rightarrow}}{dt} = \frac{d^2 s^{\rightarrow}}{dt^2}$, quindi l'accelerazione è la derivata seconda di s/t. L'unità di misura dell'accelerazione è il m/s^2 .

Nota: Notazione di Leibnitz

Nella notazione di Leibnitz la dicitura $\frac{dy}{dx} = \frac{df}{dx}$, che indica un rapporto tra due infinitesimi. Per $f'' = f^2 = \frac{d^2 f}{dx^2}$, e via dicendo, con la derivata n $f^n = \left(\frac{d^n f}{dx^n}\right)$. L'integrale diventa quindi ad una sommatoria di infinitesimi, che equivale al suo valore.

Riepilogando: la velocità istantanea $v^{\rightarrow} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s^{\rightarrow}}{\Delta t} = \frac{ds^{\rightarrow}}{dt}$, con lo spazio che può essere ricavato integrando [missing data].

Esercizio: blocchi

Vi sono due blocchi, il primo legato al secondo con una corda. Viene applicata al primo blocco una forza di trazione di 10 N, con la corda che rimane tesa. La massa del primo è 3 kg, quella del secondo è 1 kg.

Sul blocco 1 agiscono 4 forze: quella di gravità, quella normale, quella di trazione (F) e quella della corda (T).

Sul blocco 2 agiscono 3 forze: quella di gravità, quella normale e la tensione (T).

Applico la seconda legge della dinamica a ciascun blocco, e risulta che la forza verticale è nulla, mentre quella dei due

blocchi è $m \cdot a$. Risulta che $F_{x(1)} = F - T = 3 \cdot a$, $F_{x(2)} = T = 1 \cdot a$, e la richiesta è quella di ricavare l'accelerazione. Abbiamo quindi $\begin{cases} T = m_2 a \\ F - T = m_1 a \end{cases} \Rightarrow T = \frac{F}{1 + \frac{m_1}{m_2}} = \frac{10}{1+3} = 2.5N$. Dato che $2.5 = 1 \cdot a$, $a = 2.5$.

COMPOSIZIONE DELLE VELOCITÀ

Il presupposto che tutti gli elementi inerziali rispetto al sistema di riferimento concordino sulla misura del tempo e sul suo scorrimento, indipendentemente dal loro stato (relatività della simultaneità), il che non è vero se i corpi viaggiano uno rispetto l'altro a velocità prossime a c .

Se ci troviamo su un treno che si muove a 9 m/s e noi ci muoviamo di altri 2 m/s per un osservatore che è parte del sistema la nostra velocità è 2 m/s, per una persona che non ne fa parte (è a terra) è 9+2.

Definizione: Quantità di moto

La quantità vettoriale $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ è chiamata quantità di moto o momento lineare, la cui unità di misura è kgm/s

La seconda legge della dinamica può essere quindi riscritta per una particella di massa m costante come $F = m\mathbf{a} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$.

Teorema: Teorema dell'impulso

Se la risultante delle forze applicate ad un corpo è nulla, allora la quantità di moto si conserva.

Per un sistema di particelle in cui le forze sono solo interne (esercitate da particelle del sistema su altre particelle sempre del sistema) la risultante delle forze applicate al corpo è nulla per la terza legge della dinamica e la quantità di moto totale si conserva.

MOTI

I moti possono essere rettilinei, circolari o misti. Teniamo a mente che $\mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{x}}{dt}$, $\mathbf{a}(t) = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$

MOTO RETTILINEO UNIFORME

Il primo moto che osserviamo è il moto rettilineo uniforme, nel quale la velocità rimane costante nel tempo, e di conseguenza la velocità media è equivalente all'istantanea. Il grafico della legge oraria è quindi una retta, in quanto lo spostamento è proporzionale al tempo, che possiede un coefficiente angolare equivalente alla velocità.

Il moto ha quindi le seguenti caratteristiche: $\mathbf{v} = \text{cost}$, $\mathbf{a} = 0 \forall t$. Se supponiamo come punto di partenza il punto x_0 al tempo t_0 e la posizione finale x_f all'istante t_f abbiamo che $\int_{x_0}^{x_f} \mathbf{v} dt = \mathbf{v} \int_{x_0}^{x_f} dt$, $[x]_{x_0}^{x_f} = x_f - x_0$, $\mathbf{v}[t]_{t_0}^{t_f} = \mathbf{v}(t_f - t_0)$, quindi la legge oraria risulta essere $x_f - x_0 = \mathbf{v}(t_f - t_0) \Rightarrow x_f = x_0 + \mathbf{v}(t_f - t_0)$.

Esercizio: Ci sono un coniglio e un cane, il cane si muove a 10 m/s e il coniglio a 5 m/s, con il cane 30 metri dietro al coniglio. Quindi $x_{0 \text{ cane}} - x_{0 \text{ coniglio}} = 30$, poniamo $x_{\text{cane}} = x_{\text{coniglio}} \Rightarrow x_{0 \text{ cane}} + v_{\text{cane}}t = x_{0 \text{ coniglio}} + v_{\text{coniglio}}t \Rightarrow x_{0 \text{ coniglio}} - 30m + v_{\text{cane}}t = x_{0 \text{ coniglio}} + v_{\text{coniglio}}t \Rightarrow t = \frac{30m}{v_{\text{cane}} - v_{\text{coniglio}}} = 6s$.

MOTO RETTILINEO AD ACCELERAZIONE COSTANTE

Il moto rettilineo uniforme può visto come un moto rettilineo ad accelerazione costante con accelerazione pari a 0. Il moto uniformemente accelerato ha una accelerazione costante, dove l'accelerazione non dipende dal tempo e che a t_i la velocità sia v_i e che a t sia v . Si ha che $\int_{v_i}^v dv' = \mathbf{a} \int_{t_i}^t dt' = [v']_{v_i}^v = \mathbf{a}[t']_{t_i}^t \Rightarrow \mathbf{v}(t) - v_i = \mathbf{a}(t - t_i)$, $\mathbf{v}(t) = v_i + \mathbf{a}(t - t_i)$ e che $dx = \mathbf{v}(t)dt \Rightarrow dx = [v_i + \mathbf{a}(t - t_i)]dt \Rightarrow \int_{x_i}^x dx' = \int_{t_i}^t [v_i + \mathbf{a}(t - t_i)]dt' \Rightarrow \int_{x_i}^x dx' = \int_{t_i}^t [v_i]dt' + \mathbf{a} \int_{t_i}^t [(t - t_i)]dt' \Rightarrow dx = v_i(t - t_i) + \frac{1}{2}\mathbf{a}(t - t_i)^2$, che è la legge oraria.

APPLICAZIONI DEL MOTO RETTILINEO UNIFORME E DEL MOTO AD ACC. COSTANTE

Esercizio dell'Air-Bag

L'air bag deve salvare la vita all'autista di una macchina che viaggia a 100 km/h che, in seguito all'urto, si accartoccia di 1 m. In quanto tempo deve gonfiarsi l'airbag?

Conosciamo la nostra $v_i = 100 \text{ km/h}$, $v_f = 0$, $\Delta t = ?$, $x(\Delta t) = 1 \text{ m}$. Ciò che si cerca è l'accelerazione media, che tuttavia non è possibile calcolare in quanto manca Δt . Utilizziamo la legge oraria del moto uniformemente accelerato, che diventa quindi $\frac{1}{2} a \Delta t^2 + v_i \Delta t = 1 \Rightarrow \frac{1}{2} \frac{\Delta v}{\Delta t} * \Delta t^2 + v_i \Delta t = 1 \Rightarrow \frac{1}{2(v_i + v_f)} = 7,14 * 10^{-2}$.

Esercizio della slitta e della distesa orizzontale

La slitta+passaggero pesa 356 N. Il coeff. attrito dinamico è 0,05, quello statico 0,35. Calcolare la forza di attrito dinamico, lo spazio percorso dalla slitta e la forza necessaria per rimetterla in moto. La velocità iniziale è di 4 m/s.

$v_i = 4 \text{ m/s}$, agiscono la forza peso, la forza normale, la forza di attrito dinamico. La forza di attrito dinamico può esser vista come $F_{AD} = -\mu_{AD} * mg = k = -17,8 \text{ N}$, quindi siamo di fronte ad un moto uniformemente decelerato. Il moto lungo l'asse x avrà quindi un'accelerazione pari a $a_x = \frac{F_A}{m} = -0,48 \text{ m/s}^2$, calcoliamo quindi il tempo di arresto con

$t_f = -\frac{v_0}{a_x} = \frac{4}{0,48} = 8,33$. La distanza percorsa sarà quindi $4 * 8,33 - (0,5 * 0,48 * 8,33^2) = 16,7 \text{ m}$ (legge oraria).

La forza necessaria per mettere la slitta in moto è la forza di attrito statico, cioè $0,35 * 356 = 125 \text{ N}$.

CADUTA LIBERA

La caduta libera è un moto in cui sul corpo agisce la sola forza di gravità, che gode quindi di una accelerazione negativa pari a $-9,8 \text{ m/s}^2$. Nel vuoto, oggetti dalla massa e dalla superficie diversa cadono in contemporanea, e questo è dovuto all'assenza dell'attrito dell'aria e all'assenza della spinta di archimede.

MOTO DEI PROIETTILI

Se l'attrito dell'aria è trascurabile, allora il moto di un proiettile è influenzato unicamente dalla forza di gravità. Si può vedere la caduta libera verticale come un caso particolare, nel quale la velocità orizzontale è nulla, avendo quindi un moto nullo in x e in y un moto uniformemente accelerato (di g), e la traiettoria è una linea retta. Nel caso di velocità non nulla, in x si avrà un moto rettilineo uniforme e si verrà a creare una traiettoria completamente diversa, in quanto il moto sarà in due dimensioni (accelerazione in x=0, in y=g). Il tempo di caduta tra i due casi sarà il medesimo, ciò che cambierà sarà la distanza in x dal punto di partenza.

Esercizio dell'aereo

Un aereo vola a 1050 m alla velocità di 115 m/s. A che distanza cade un oggetto lanciato?

Ricaviamo il tempo nel quale la cassa si schianta a terra: $\sqrt{\frac{2h}{g}}$, quindi la distanza orizzontale è $\sqrt{\frac{2h}{g}} * 115 = 1683 \text{ m}$

Le condizioni iniziali per un problema legato al lancio del proiettile sono le seguenti: $v_{0x} = v_0 * \cos \sigma$, $v_{0y} = v_0 * \sin \sigma$. Sull'asse x, la distanza totale sarà $v_{0x} * t$, sull'asse y invece $\frac{1}{2}(-9,81)t^2 + v_{0y}t$, con la velocità y in un momento $t - 9,81t + v_{0y}$.

MOTO ARMONICO SEMPLICE

Per il moto armonico semplice è necessaria una forza di richiamo, ad esempio esercitata da una molla, la cui intensità è direttamente proporzionale allo spostamento: per la molla, $F_x = -kx$, dove x è lo spostamento e k è il coefficiente elastico della molla (N/m). Dato che $F_x = m * a * x$, $m * a * x = -k * x \Rightarrow a_x(t) = -\frac{k}{m} * x(t)$ oppure $-kx = m * (\frac{d^2x}{dt^2})$ quindi $x(t) = A * \cos(\omega t)$ e $x(t) = A * \sin(\omega t)$, $v(t) = -A\omega \sin \omega t = A\omega \cos \omega t$, $a(t) = -A\omega^2 \cos \omega t = A\omega^2 \sin \omega t$ dove $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \left[\frac{1}{s}\right]$, $A = \text{ampiezza max}$. Queste due soluzioni derivano dall'equazione differenziale,

che è di secondo ordine. Agli estremi dell'oscillazione, la velocità è nulla, ma dato che la sua accelerazione non è nulla torna indietro, avendo massima velocità al centro di equilibrio (dove la distanza dal centro è nulla), quindi la velocità è opposta alla distanza. L'accelerazione è nulla quando l'oggetto è nel punto di equilibrio (e massima quando è agli estremi).

Questo moto periodico ha come caratteristica il periodo, cioè l'intervallo di tempo che intercorre prima che il moto si ripeta. Il periodo è quindi quel tempo t tale che $\omega T = \frac{2\pi}{\omega}, \omega = \frac{2\pi}{T}, T = \frac{2\pi}{\omega}, T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

In presenza di attrito le oscillazioni sono smorzate, con l'ampiezza delle oscillazioni che man mano cala. Se un corpo agisce sotto l'azione della forza di gravità, la resistenza dell'aria non è più trascurabile. Dalla seconda legge di Newton $\Sigma F_y = F_d - w = ma$, dove F_d è l'intensità della forza di attrito. La forza di attrito è equivalente a $F_d = bv^2$, dove b è un coefficiente e v è la velocità del corpo. Il coefficiente b dipende dalla forma dell'oggetto e dalle sue dimensioni (e, in teoria, dalla viscosità/densità del corpo nel quale l'oggetto cade). Man mano che la velocità aumenta, aumenta pure l'attrito. Si raggiungerà ad un determinato istante della caduta una condizione $F_d = w$ ovvero $\Sigma F_y = F_d - w = ma = 0 \Rightarrow bv^2 - mg = 0$ quando $v = v_t = \sqrt{\frac{mg}{b}}$, dove v_t è detta velocità terminale.

MOTO CIRCOLARE

La lunghezza dell'arco è data da $s = r * \Delta\theta$, con $\Delta\theta = \frac{s}{r}$ (spostamento angolare) che rappresenta la differenza tra gli angoli di inizio e fine dell'arco con θ espresso in radianti. Sebbene il moto circolare sia teoricamente in due dimensioni, dato che il raggio è costante posso indicare la posizione del moto usando unicamente l'angolo, detto coordinata angolare. La velocità angolare media è definita come $\omega_{av} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ e quella istantanea $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$, che si misura in radianti al secondo. La velocità media è quindi $v_{av} = \frac{r\Delta\theta}{\Delta t} = r\omega$, e vale lo stesso concetto per i valori istantanei. Per quanto riguarda l'accelerazione, invece, bisogna considerare che la velocità dell'oggetto vincolato debba sempre essere tangente alla circonferenza (quindi deve essere sottoposto ad una forza) e quindi la velocità cambia in direzione, modulo e verso. Questo vuol dire che l'accelerazione è sempre diversa da 0. L'accelerazione quindi è data dalla somma dell'accelerazione radiale (variazione della direzione e verso di v , anche nota come accelerazione centripeta) e dell'accelerazione tangente (variazione del modulo di v).

La forza che tiene il corpo vincolato è detta forza centripeta, definita come $F_c^{\rightarrow} = m\mathbf{a}_c$.

Il moto circolare è detto uniforme se l'oggetto che si muove su una traiettoria circolare di raggio r percorre archi uguali in tempi uguali, con il periodo T che indica il tempo necessario per un giro completo e con $\frac{1}{T} = f$ [Hz] che indica la frequenza, quindi si ha il modulo della velocità costante, che è $|\mathbf{v}| = \frac{2\pi r}{T}$, ed è costante anche la velocità angolare $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ con $v = \omega r$. Tuttavia la direzione di v cambia, quindi c'è accelerazione radiale.

Si ha inoltre che $|\mathbf{a}| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$, ed ha come direzione quella del centro (da qui il nome centripeta) con $F_c^{\rightarrow} = m\mathbf{a}_c = \frac{mv^2}{r} = m * (r\omega^2)$. Se vogliamo calcolare le coordinate del punto sulla circonferenza, possiamo usare $x_p(t) = r * \cos \theta(t)$, $y_p(t) = r * \sin \theta(t)$.

Il moto armonico può essere considerato come un moto circolare uniforme "visto da un lato".

LAVORO E ENERGIA

Il lavoro è una grandezza scalare definita in relazione ad una forza applicata ad un corpo che genera lo spostamento, $W = |\mathbf{F}| * |\text{spostamento}| * \cos \theta = [\text{Joule}]$, dove θ è l'angolo tra la direzione della forza e quella dello spostamento, con W che può essere positivo o negativo e con $F * \cos \theta = F_{//}$.

Definizione: Prodotto scalare

Dati due vettori \mathbf{a} e \mathbf{b} che formano un angolo α definiamo $\mathbf{a} \circ \mathbf{b} = |\mathbf{a}| * |\mathbf{b}| * \cos \alpha$, ed è commutativo. In coordinate cartesiane: $\mathbf{a} \circ \mathbf{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$

Il lavoro può quindi esser visto come $W = \mathbf{G} \circ \mathbf{S}$.

Se la forza è costante, il lavoro sarà $W = F \cdot \cos \theta \cdot \Delta(s)$ ed altro non è che la superficie del grafico sottostante la curva della forza. Se la velocità di un corpo è costante, il lavoro è nullo.

Finora abbiamo supposto che la forza sia costante, ma questa può anche essere variabile. Per questo bisogna ricorrere all'integrale $\int_{x_i}^{x_f} \mathbf{F}(x) dx$.

Esempio: molla

Una molla ha $k = 20 \text{ N/m}$, e ci si chiede qual è il lavoro eseguito per deformare la molla di $x_f = 0.40$ partendo da $x_i = 0$. $W = \int_{x_i}^{x_f} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x} = \int_{x_i}^{x_f} -kx \cdot (-1, \text{direzione}) \cdot dx = k \int_{x_i}^{x_f} x \cdot dx = \frac{1}{2} k(x_f^2 - x_i^2) = \frac{1}{2} kx_f^2 = 1.6 \text{ J}$

ENERGIA CINETICA

L'energia di un corpo in movimento prende il nome di energia cinetica, ed è definita come $K = \frac{1}{2} mv^2$

Teorema

$$dW = F dx = m \frac{dv}{dt} dx = m \frac{dv}{dt} v dt = m v dv, W = \int_{v_i}^{v_f} dW = \int_{v_i}^{v_f} m v dv = m \int_{v_i}^{v_f} v dv = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Esempio: sciatrice "senza propulsione"

La sciatrice pesa 58 kg, scende inclinata di 25 gradi, l'attrito è 70N, e in cima al pendio la velocità è 3,6 m/s. Dopo 57 metri che velocità avrà la pischella?

Usiamo il teorema dell'energia cinetica per arrivare alla velocità finale, sapendo che $W = k_f - k_i \Rightarrow k_f = W + k_i$.

Le forze lungo il piano sono la forza di attrito dinamico e la forza peso ($mg \cdot \sin \theta$) quindi la risultante è $mg \cdot \sin 25 - 70 \text{ N} = 58 \cdot 9.81 \cdot \sin 25 - 70 \text{ N} = 170 \text{ N}$, che produce un lavoro di $W = (F \cos \theta) = 170 \cdot \cos \theta \cdot 57 =$

9800 J , e applico il teorema $9700 + \frac{1}{2} (58 \text{ kg}) \left(3.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 10100 \text{ J}$. La velocità è quindi $v_f = \sqrt{\frac{2 \cdot 10100}{58}} = 18,7 \text{ m/s}$

Per le forze il lavoro è strettamente legato al cammino, e due cammini diversi non hanno lo stesso lavoro. Questo non vale per le forze conservative, dove il lavoro è indipendente dal cammino fatto dalla forza (ad esempio la forza peso): consideriamo un corpo di massa m , che si sposta di Δh (dall'alto verso il basso), con il lavoro della forza gravitazionale che può essere definito come $W = mg \cdot |\Delta h| \cdot \cos \theta = -(mgh_f - mgh_i) = -mg(\Delta h)$, e quindi abbiamo dimostrato che la forza peso è una forza conservativa. Questo perché, anche se il corpo si sposta in orizzontale, essendo la forza peso verso il basso, $\theta = 90$ e $\cos \theta = 0$.

Alle forze conservative è possibile associare un determinato tipo di energia, detto energia potenziale, che è legata al concetto stesso di lavoro (il lavoro di una forza conservativa può essere visto come la differenza tra l'energia potenziale iniziale e quella finale). Il lavoro di una forza conservativa è quindi $W_{con} = -\Delta U$

ENERGIA POTENZIALE GRAVITAZIONALE

L'energia potenziale gravitazionale è indicata come $U = mgh$. Quindi si ha che $W = -(U_f - U_i) = -\Delta U$. E' definita come il lavoro che la forza di gravità può compiere facendo cadere l'oggetto sul piano di riferimento. L'espressione più generale per l'energia potenziale per una massa M_2 è $U(r) = -\frac{GM_1 M_2}{2}$ dove con $r = \infty \Rightarrow U = 0$ con $W =$

$$\int_{r_i}^{r_f} dr F(r) = GM_1 M_2 \int_{r_i}^{r_f} -\frac{1}{r^2} dr = \frac{GM_1 M_2}{r_f} - \frac{GM_1 M_2}{r_i}.$$

Il teorema dell'energia cinetica ci dice che $W_{tot} = k_f - k_i \Rightarrow W_{conservative} + W_{non conservative} = k_f - k_i \Rightarrow W_{nc} + (U_f - U_i) = k_f - k_i \Rightarrow W_{nc} = (k_f + U_f) - (k_i + U_i)$, dove $k + U = E_M$, che indica l'energia meccanica. Quindi abbiamo che $W_{nc} = E_{MF} - E_{MI}$ che è 0 se tutte le forze sono conservative, cioè $E_{MF} = E_{MI}$.

Esempio: Bob

Il bob parte con $E_k = 0$ con $E_M = 600.000 \text{ J}$ e l'attrito non esiste, che rimane sempre costante. Questo perché man mano che la potenziale diminuisce, la cinetica aumenta fino ad eguagliare la potenziale.

Esercizio: Motociclista sul burrone

Quando la motocicletta abbandona la rupe si muove a 55 m/s , ed è ad altezza 70 . L'altezza finale è 35 , e l'attrito è trascurabile. Quindi abbiamo che $\Delta E_k + \Delta U = 0, \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f, v_f = \sqrt{v_i^2 + 2g(\Delta h)}$.

Esercizio: il vagoncino

Il peso è 1000 kg , parte da 40m e risalendo si ferma a 25m . Sapendo che la lunghezza percorsa è 400m , stima la forza di attrito media.

Dal momento che agisce una forza non conservativa sul sistema, si ha che $W_{nc} = U_f - U_i = mgh_f - mgh_i = -mgh(h_i - h_f) = -147\text{kJ}$. Avendo ora un lavoro, convertiamo in forza: $W = F_a * s * \cos \theta = -F_a * s$, quindi $F_a = \frac{W}{s} = -\frac{147.000}{400} = 367\text{N}$.

ENERGIA POTENZIALE ELASTICA

Come quello della forza peso, il lavoro della forza elastica dipende dal punto di arrivo e di partenza.

$$W_{x_i}^{x_f} = \int_{x_i}^{x_f} kx * \cos \pi \, dx = -k \int_{x_i}^{x_f} x \, dx = -k \left[\frac{x^2}{2} \right]_{x_i}^{x_f} = -\frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2) = -(U_f - U_i)$$

dove quindi $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$ è l'energia potenziale elastica, grandezza scalare associata alla posizione in cui si trova il punto (ovvero x). L'energia meccanica di una massa m collegata ad una molla è quindi $E_M = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + mgh$.

Esempio: Scatola

La massa è 0.25 kg , che scivola senza attrito a $3,0 \text{ m/s}$. La scatola incontra una molla con $k=200 \text{ N/m}$. Dato che non c'è attrito, $E_{MI} = E_{MF} \Rightarrow U_i + K_i = U_f + K_f \Rightarrow 0 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2 + 0 \Rightarrow x = \left(\sqrt{\frac{m}{k}} \right) * v = 0.11\text{m}$

POTENZA

La potenza è il tasso di trasferimento di energia, e si misura in watt (W).

La potenza media è definita come $P_{av} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$, con quella istantanea che è $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} Fv = Fv$ o meglio $P = Fv * \cos \theta$.

Esempio: Auto da corsa

Una macchina di massa 500 kg percorre un quarto di miglio (402 m) in 4.2 secondi partendo da ferma, con velocità finale 125 m/s . Trascurando l'attrito calcola la potenza media.

$$P_{AV} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{(\Delta U + \Delta K)}{\Delta t} = \frac{\left(0 + \frac{1}{2}mv_f^2\right)}{\Delta t}$$

ELETTROMAGNETISMO

ELETTROSTATICA

I materiali si dividono in due categorie: gli isolanti, che si oppongono al passaggio di energia elettrica, e i conduttori, che non lo ostacolano. L'elettrizzazione può avvenire o per strofinio oppure per contatto. A differenza della forza gravitazionale, che è sempre attrattiva, la forza elettrica è sia attrattiva (tra cariche di segno opposto) che repulsiva (tra cariche dello stesso segno).

Definizione: Carica elettrica

La carica elettrica è una grandezza scalare che si conserva, e può essere positiva o negativa. Un corpo è elettricamente neutro se la somma di tutte le cariche è 0. L'unità elementare della carica è $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$, dove la carica dell'elettrone è $-e$, del protone è e e la carica del neutrone è 0.

Definizione: Ampère e Coulomb (da leggere dopo la spiegazione della legge di Ampère)

Se si hanno due fili, dove nel filo 1 scorre la corrente i_1 e nel filo 2 la corrente i_2 e generano quindi un campo magnetico che interferisce con l'intensità elettrica dell'altro conduttore, e c'è quindi interazione tra i due conduttori mediante campo magnetico. Nel caso in cui le correnti siano concordi, i due conduttori si attraggono. Supponiamo che i due fili siano a distanza d , con il campo magnetico $B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{d}$, il che comporta una forza $F_{L_1 \rightarrow 2} = I_2 \cdot l \cdot B_1 = I_2 \cdot l \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{d} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{d} \cdot l$, diciamo circola una corrente di 1 ampere su ciascuno dei due fili rettilinei che, disposti ad un metro l'uno dall'altro, se la forza di interazione tra due fili è $\frac{\mu_0}{2\pi}$. Il Coulomb è quindi definito come 1 Ampère per secondo.

Definizione: Forza elettrica (Legge di Coulomb)

La forza elettrica è una forza a distanza fondamentale, e come la gravitazionale è inversamente proporzionale alla distanza tra due cariche. E' così definita: $\mathbf{F}_e = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} = [C]$ dove q_1, q_2 sono le cariche, r è la distanza e $k = 8.99 \frac{Nm^2}{C^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, dove $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} C^2 / Nm^2$ che è la costante dielettrica del vuoto.

Definizione: Polarizzazione

Fenomeno che si verifica in corpi elettricamente neutri quando gli si avvicina un corpo non elettricamente neutri. Porta le cariche dell'oggetto a "schierarsi" in accordo con il loro segno.

Definizione: Campo elettrico

Una carica di prova positiva q_0 collocata nel punto P è soggetta ad una forza elettrostatica \mathbf{F}_e dovuta alla presenza delle cariche elettriche nel suo ambiente. $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{q_0} = \frac{k|Q|}{r^2} = \left[\frac{N}{C} \right]$ è l'intensità del campo nel punto in cui è presente la carica di prova. Dipende solo dalle cariche che vogliamo misurare e che generano il campo.

Esempio: Campo elettrico in p

$q_1 = +e, x_1 = 0, q_2 = -2e, x_2 = 1, x_p = 2$

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{k|q_1|}{r^2} = \left(9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \right) \cdot \frac{(1.6 \cdot 10^{-19} C)}{(2m)^2} = 3.6 \cdot 10^{-10} \frac{N}{C} \\ E_2 &= \frac{k|q_2|}{r^2} = \left(9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \right) \cdot \frac{(2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} C)}{(1m)^2} = 2.9 \cdot 10^{-9} \frac{N}{C} \\ E_{ris} &= E_1 - E_2 = -2.5 \cdot 10^{-9} N/C \end{aligned}$$

Definizione: Linee di campo

Le linee di campo sono un modo utile per rappresentare il modulo e la direzione di un campo nello spazio. Le linee sono disegnate in modo che il capo sia loro tangente, dove sono molte il campo è intenso, partono dalle cariche positive e vanno verso le negative e non si incrociano mai.

Le linee di una carica puntiforme partono dalla carica e, a seconda del segno, vanno verso la carica (carica negativa) o in direzione opposta (carica positiva). Quelle di un dipolo convergono, e quelle di un condensatore piano vanno da un'armatura all'altra.

LEGGE DI GAUSS

Consideriamo una carica puntiforme positiva $+Q$, circondata da una sfera immaginaria da cui escono le linee del campo E generato dalla carica. Si consideri una piccola parte della superficie della sfera. Sapendo che $E \propto \frac{n^{\circ} linee}{A} \Rightarrow n^{\circ} linee \propto E * A$. Si definisca il flusso come la quantità scalare correlata al numero di linee di campo che attraversano la superficie, cioè $flusso = \phi_e = E_{\perp} A = (E \cos \theta) A$. Quando le linee di campo escono dalla superficie, il flusso è maggiore di 0, quando entrano è negativo. Il flusso attraverso una superficie chiusa dipende dalla quantità di carica all'interno della superficie chiusa stessa, quindi $\phi_e = \frac{Q_{dentro_superficie}}{\epsilon_0}$.

POTENZIALE ELETTRICO

Definizione: Energia Potenziale elettrica

L'energia potenziale del campo elettrico è detta energia potenziale elettrica. Il lavoro compiuto dallo spostamento di una carica di prova a una velocità costante è $W = -(U_f - U_i)$. L'energia potenziale elettrica U_e è l'energia posseduta da una carica elettrica in un punto per effetto della sua posizione rispetto ad altre cariche (solo la posizione, non il percorso). L'energia potenziale elettrica ad una distanza r è $U_{e(r)} = \frac{kQq_0}{r^2}$ dove Q è la carica che origina il campo e q_0 la carica di prova.

Definizione: Potenziale elettrico

Il potenziale elettrico prodotto da una distribuzione di cariche elettriche in ogni punto dello spazio è definito come $V_e = \frac{U_e}{q} = [V]$. Come si sommano i campi elettrici, si sommano anche i potenziali.

Esempi:

Vengono compiuti $5 + 10^{-5} J$ spostando la carica $q_0 = 2 * 10^{-6} C$ ad una velocità costante dal punto A al punto B. Si trovi la differenza di energia potenziale e di potenziale tra i due punti.

La differenza di energia potenziale è $L_{AB} = U_B - U_A = 5 * 10^{-5} J$. La differenza di potenziale è $V_B - V_A = \frac{(U_B - U_A)}{q_0} = 25 V$.

Un protone e un elettrone inizialmente separati di r vengono avvicinati. Come cambia l'en potenziale?

$$U_e = -\frac{ke^2}{r}, \text{ con l'avvicinare le cariche che indica } \Delta U_e = U_b - U_a < 0$$

Definizione: Forza elettromotrice

La forza elettromotrice (fem) è il rapporto del lavoro eseguito da un generatore per spostare le cariche elettriche dal polo a basso potenziale a quello ad alto potenziale e l'unità di carica spostata.

Le sorgenti di forza elettromotrice sono ad esempio le batterie, le prese e i condensatori, e tutte generano differenza di potenziale. Quando solo le forze elettriche agiscono su una carica, la sua energia meccanica totale si conserva.

Esempio:

Il punto P ha un potenziale di 500 kV e il punto S ha un potenziale di 200 kV. Quando una carica di $+2e$ si sposta da P a S, quanto varia l'energia cinetica?

$$E_i = E_f \Rightarrow K_i + U_i = K_f + U_f \Rightarrow \Delta K = -\Delta U, -\Delta U = (-q)(V_s - V_p) = +9.6 * 10^{-14} J$$

Le cariche si muovono dal + al meno (anche se sono gli elettroni nella pratica a muoversi che vanno dal - al +), e tendono quindi a diminuire $e_{el} = qV$.

Definizione: Superficie equipotenziali

Superfici sulle quali il potenziale elettrico ha lo stesso valore in tutti i punti (sfere di raggio r con centro sulla carica).

Superfici equipotenziali per la carica puntiforme

Se si sposta un punto su una superficie equipotenziale, lo spostamento non comporta nessun lavoro.

Il campo elettrico in ogni punto punta da zone di potenziale alto a zone di potenziale più basso ed è perpendicolare alla superficie equipotenziale che passa per quel punto. L'intensità del campo elettrico, diretta radialmente e orientata verso l'esterno, è perpendicolare alle superfici equipotenziali sferiche che circondano la carica, con l'intensità del campo elettrico che è diretta nel verso del potenziale decrescente (da potenziale alto a potenziale basso). Superfici equipotenziali si trovano anche nei dipoli (nel punto in cui le linee di campo si scontrano) e nel condensatore piano.

Su una componente equipotenziale, l'intensità di campo E non è perpendicolare a quest'ultima, e di conseguenza esiste una componente perpendicolare e una parallela.

Relazione tra E e V

$$\Delta V = \frac{\Delta U_e}{q} = -E * d$$

CONDENSATORI

Un condensatore è un dispositivo che è in grado di tener separati due strati di carica, formato da due armature conduttive tra cui è inserito un isolante (dielettrico). Può esser visto come un immagazzinatore di energia potenziale, in quanto per separare le cariche viene compiuto un lavoro. Il rapporto tra la carica sui conduttori e la differenza di potenziale con il quale è stato caricato $\frac{Q}{\Delta V} = C$, ovvero la capacità. La capacità del condensatore è una grandezza fisica è il $\frac{C}{V} = \text{Farad}$. Il lavoro di carica del condensatore ($|L| = q\Delta V$) ha termine quando il lavoro che serve per aggiungere cariche è uguale a quello che le cariche già sul condensatore esercitano per tener lontane altre cariche. Per un condensatore a facce piane parallele $E \propto Q, E \propto \Delta V \therefore (\text{perciò}) Q \propto \Delta V$ che scritto in forma di equazione diventa $Q = C\Delta V \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta V}$. Se il condensatore è a facce piane paralleli, sfruttando fattori geometrici delle facce e la tipologia, possiamo scrivere la formula $\Delta V = E * d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} * d = \frac{Q}{\epsilon_0 A} * d \therefore Q = \frac{\epsilon_0 A}{d} * \Delta V = C\Delta V$ con $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ dove A è l'area della faccia, epsilon è la costante dielettrica e d è la distanza. La tensione è proporzionale alla distanza. Per aumentare la capacità si può cambiare il dielettrico tra le armature.

Esempio

Un condensatore a fpp ha una capacità di 1.20 nF, e è presente una carica di $0.800 \mu C$.

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

Definizione: Rigidità dielettrica

La rigidità dielettrica è il massimo valore del campo elettrico che il dielettrico può reggere prima di rompersi irrimediabilmente.

L'energia immagazzinata nel sistema vale $d * L = dQ * \Delta V = dQ * \left(\frac{Q}{C}\right)$. La carica massima Q che si può trasferire sulla capacità si può ottenere dalla legge dei condensatori, con il lavoro totale che è quindi $L = \int_0^Q d * L = \frac{1}{C} \int_0^Q dQ * Q = \frac{Q^2}{2C}$. L'energia potenziale è $U = \frac{1}{2} Q\Delta V = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2 = \frac{Q^2}{2C}$

CORRENTI E CIRCUITI

Definizione: Corrente elettrica

La corrente è la misura della quantità di carica che passa attraverso un'area perpendicolare al flusso di carica, ed è

definita come $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = [A]$. La corrente fluisce fino a che la ddp non si annulla. In un conduttore, la direzione di scorrimento della corrente è opposta al flusso degli elettroni e in un circuito in cui la corrente ha sempre la stessa direzione si dice che si ha corrente continua.

Definizione: Forza elettromotrice della batteria

Una batteria ideale mantiene una differenza di potenziale costante tra i suoi morsetti, con questa differenza di potenziale che prende il nome di Forza Elettromotrice della batteria (ϵ). Il lavoro svolto dalla batteria nello spostare una carica q tra i due morsetti è $L = q\epsilon$. Le batterie convertono l'energia chimica in energia elettrica, che viene trasmessa mediante i conduttori. Nel metallo, gli elettroni hanno una velocità intorno a $10^6 m/s$, ma la direzione del moto è casuale e la loro velocità di deriva $v_{deriva} = 0$.

Un materiale è considerato ohmico se $\Delta V \propto I$, con la legge di Ohm che è $\Delta V = I * R$ con R che è la resistenza elettrica e si misura in Ohm (Ω). La resistenza di un conduttore è $R = \frac{\rho L}{A}$ dove ρ è la resistività, L la lunghezza del conduttore e A l'area della sezione. Se ρ è piccolo, il materiale è conduttore, altrimenti è isolante, maggiore è l'area minore sarà la resistenza (il contrario per la lunghezza). La resistività dipende dalla temperatura: $\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T)$, dove α è il coefficiente della temperatura della resistività. Il tasso di dissipazione dell'energia è $P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = I * \Delta V$, che per una sorgente di FEM diventa $P = I\epsilon$ e per una resistenza diventa $P = \frac{\Delta V^2}{R} = I^2 R$.

Esempio:

Un filamento metallico è percorso da una corrente che lo rende incandescente. Se vengono usate due batterie da 1.5V che producono una ddp di 3V per fornire una corrente di 0.4°, determina la resistenza, la potenza e l'energia dissipata in 5.5 minuti.

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{3}{0.4} = 7.5\Omega, P = I^2 R = 0.4^2 * 7.5 = 0.12W, s = 60 * 5.5 = 330, E = 330 * 0.12 = 36.60J$$

PRINCIPI DI KIRCHHOFF

Un nodo è un punto in cui due o più fili si incontrano. I principi di Kirchhoff sono i seguenti:

- Legge dei nodi: la corrente che entra in un nodo è la stessa che esce da esso (la carica si conserva)
- Legge delle maglie: la somma delle cadute di potenziale in una maglia chiusa è 0 (l'energia si conserva).

La corrente scorre solamente attorno ad una maglia chiusa. In un circuito attraversato con una resistenza R da una corrente fornita da una batteria, si ha che $V_{AB} - IR = 0, \epsilon - Ir - IR = 0$ dove ϵ è la FEM della batteria, e r è la resistenza interna alla batteria. Partendo dalla batteria dal polo negativo, si va al positivo seguendo il percorso del circuito.

I circuiti possono essere in serie o in parallelo, e questo cambia il concetto di resistenza equivalente. Se sono in serie, la resistenza si trova sommando le due resistenze, se si trovano in parallelo bisogna applicare la legge di kirchoff ($\epsilon - I_1 R_1 = 0, \epsilon - I_2 R_2 = 0$, date due resistenze) e si ottiene $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{eq}}$

Esempio:

L'impianto è alimentato da una potenza di 5kW. In un certo istante la ddp è di 220V. Se sono collegati 4 elettrodomestici in parallelo che consumano 100W, 1.8kW, 350W e 1.2kW. Quale corrente attraversa l'impianto, quanta potenza e quale corrente avanza?

Dato che $P = I * \Delta V, \frac{100}{220} = 0.45A, ecc$

La corrente residua è 5000W-Utilizzo

L'intensità residua è $\frac{P_{residua}}{\Delta V} = \frac{1550}{220} = 7.05A$

Dato un circuito con R1 (15 ohm) R2 e R3 (12, 24ohm). $\frac{1}{12} + \frac{1}{24} = \frac{1}{8}$, $R_{2,3} = 8$, $R_{123} = 8 + 15 = 23$.

La carica dei condensatori sulle armature in parallelo, invece, è $Q_{eq} = Q_1 + Q_2 \Rightarrow \epsilon C_{eq} = \epsilon C_1 + \epsilon C_2$, per la serie invece è $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.

Le correnti vengono misurate tramite amperometri, strumenti che calcolano l'intensità di corrente in un certo punto, e vengono piazzati in serie.

La caduta di potenziale viene misurata mediante un voltmetro, che ha resistenza interna elevata per non farsi attraversare da alcuna corrente e viene messo in parallelo.

MAGNETISMO

I magneti esercitano una forza uno sull'altro, con i poli opposti che si attraggono e i poli uguali che si respingono. Ogni magnete ha un polo nord e un polo sud (non esistono monopoli magnetici). Il campo prodotto dal bipolo magnetico prende nome di campo magnetico, all'interno dei quali un "ago di prova" reagisce alla forza del campo.

Legge di Gauss per il magnetismo

Il flusso di B attraverso qualsiasi superficie S che racchiude il bipolo è sempre nullo.

La forma del campo magnetico dipende fortemente dalla forma del magnete stesso. Intorno alla Terra il campo magnetico è simile a quello di un dipolo, con il nord e il sud magnetico che sono diversamente orientati rispetto a quelli geografici (il nord magnetico è al sud geografico, il sud al nord geografico). Non tutti i materiali sono magnetici, ma alcuni (come il ferro) se esposti ad un materiale magnetico si magnetizzano.

Regola della mano destra: Usando la mano destra e ponendo il pollice in direzione a e l'indice in b, la direzione del vettore c è data dal medio.

Prodotto di vettori: Dati vettori **a**, **b** tra cui c'è un angolo θ , $|c| = |a| * |b| * \sin(\theta)$ dove la direzione di **c** è perpendicolare ai vettori iniziali (l'operazione non è commutativa).

Definizione: Forza di Lorentz

La forza magnetica su una carica puntiforme è $F_B = q(\mathbf{v} * \mathbf{B}) = L$, dove **B** è il campo magnetico che viene misurato in (la forza è perpendicolare sia al campo che alla velocità). La forza è nulla quando il vettore velocità della particella è parallelo al campo magnetico, ed è al massimo quando $\theta = 90^\circ$. La forza di Lorentz NON compie lavoro a spostare la carica elettrica, in quanto perpendicolare alla velocità e quindi allo spostamento.

Una particella carica positivamente dalla velocità v (con v perpendicolare a B) che si muove in un campo magnetico ha moto circolare uniforme, quindi si ha che $F_c = ma_c = F_L \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = qvB$ e si ha che $r = \frac{mv}{qB}$.

Se una particella carica ha una componente della velocità perpendicolare a B, allora la traiettoria è circolare, se invece ne ha una parallela, si muoverà verso l'alto dando origine a un moto elicoidale.

FORZA DI LORENTZ SU UN FILO PERCORSO DA CORRENTE

La forza su un filo percorso da corrente in un campo magnetico esterno è $\mathbf{F} = I(\mathbf{L} * \mathbf{B})$, dove **L** è un vettore che punta nel verso di scorrimento di corrente il cui modulo è la lunghezza del filo.

Le cariche elettriche generano un campo magnetico, la cui intensità è $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{Tm}{A}$, permeabilità del vuoto, con la direzione delle linee di campo B data dalla regola della mano destra (pollice verso lo scorrimento della corrente, la direzione di chiusura della mano indica il verso di percorrenza delle linee di campo. Il campo B è tangente alle linee di campo.

CAMPO MAGNETICO DI UNA SPIRA

In una spira, le linee di campo entrano all'interno della spira per poi uscirne. La direzione delle linee di campo è data dalla regola della mano destra. Data la similitudine tra il comportamento delle linee di campo magnetico di una spira con quelle di un magnete, si può considerare la spira come un magnete a sbarra immaginario, con un polo nord e un polo sud. Se la corrente cambia verso, cambia anche l'orientamento del magnete.

CAMPO MAGNETICO DI UN SOLENOIDE

Un solenoide è un insieme di spire fatto a forma di cilindro. Il campo dentro al solenoide è quasi uniforme e ha intensità $B = \mu_0 n I$, $n = \frac{\text{Numero avvolgimenti}}{\text{Lunghezza del filo}}$.

LEGGE DI AMPÈRE

La legge di Ampère per la magnetostatica è una relazione matematica che lega il campo magnetico alle correnti elettriche che lo generano. Si consideri una linea chiusa Γ in ogni punto della quale è definito un campo vettoriale \mathbf{B} . Definito l'orientamento, si definisce Circuitazione di \mathbf{B} la quantità $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}_i$ dove $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ è il prodotto scalare tra \mathbf{B} e il vettore $d\mathbf{l}$ che ha come modulo l'elemento infinitesimo di lunghezza $d\mathbf{l}$ orientato secondo la tangente alla linea Γ nel punto considerato.

Legge di Ampère

La circuitazione di \mathbf{B} lungo un qualsiasi percorso chiuso è uguale a $\mu_0 I$, dove I è la corrente stazionaria totale che attraversa una qualunque superficie delimitata dal percorso chiuso di integrazione e μ_0 è la permeabilità nel vuoto, quindi $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum_n I_n$, ovvero la circuitazione è uguale alla somma delle correnti concatenate.

Esercizio

Un filo orizzontale è percorso dalla corrente continua $I_1 = 80^\circ$. Quanto deve valere la corrente in un secondo filo, parallelo al primo e posto venti cm più in basso, perché questo non cada sotto l'effetto di gravità? La massa per metro di lunghezza è 0.12 g.

Per trovare la corrente dico che $F_L = P \Rightarrow I_2 * l * \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} = mgl \Rightarrow I_2 = \frac{mgl2\pi d}{\mu_0 I_1 l} = 14$

MATERIALI MAGNETICI

Nella materia esistono delle cariche che ruotano su orbite chiuse, e queste microspire sono normalmente orientate in tutte le direzioni e i corrispondenti campi magnetici annullano i loro effetti, il che porta ad avere un campo magnetico netto nullo. I materiali ferromagnetici, invece, sono formati da domini, regioni in cui i campi magnetici atomici sono allineati. Quando i campi dei domini sono orientati in modo casuale, non c'è una magnetizzazione netta sull'oggetto. Quando sono allineati (dopo l'esposizione ad una fonte di campo magnetico) il materiale avrà una magnetizzazione netta.

FORZA ELETTROMAGNETICA INDOTTA

Consideriamo un conduttore in un campo \mathbf{B} che si muove verso destra (vettore \mathbf{v}). La $F_L = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, con quindi gli elettroni nel conduttore che sperimentano una forza verso il basso, con gli elettroni che si spostano verso il basso (lasciando spazio a cariche positive). Questo crea un campo elettrico (indotto dal campo magnetico) e una differenza di potenziale tra la parte alta e bassa della sbarra. Il trasferimento di carica ha termine quando la forza dovuta al campo viene annullata dalla forza elettrica repulsiva tra la carica accumulata e la nuova carica in arrivo. Se la sbarra venisse posta su binari conduttivi in modo da formare una spira per gli elettroni, si andrebbe a generare una corrente prodotta dalla forza di Lorentz, e se fermiamo la sbarra la corrente smette di circolare. La FEM ϵ agli estremi del conduttore si

può ricavare con $q\epsilon = F_L * L = qvBL \Rightarrow \epsilon = vBL$ dove L è la lunghezza del conduttore che sta venendo mosso (quindi la distanza percorsa dagli elettroni). $I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{\epsilon}{R} = \frac{vBL}{R}$, dove R è la resistenza della sbarra. Si ha quindi la nascita di una ddp non per mezzo di un generatore ma per il movimento del conduttore in un campo magnetico. Qual è la forza magnetica, e qual è la sua direzione? Sappiamo che $F_L = I(\mathbf{L} * \mathbf{B}) \Rightarrow F_L = ILB \sin 90^\circ = ILB = \frac{vBL}{R}LB = \frac{vB^2L^2}{R}$. Dato che il campo è entrante (\otimes), la direzione della forza è [...]. Per mantenere una FEM costante, la sbarra deve muoversi con velocità costante, e un agente esterno deve quindi compiere lavoro sulla sbarra (conserv. Energia).

Un flusso di campo magnetico variabile produce in un circuito una forza elettromotrice senza la presenza di batteria.

Legge di Weber

Il flusso magnetico è proporzionale al numero di campo B che attraversano una determinata area: $\phi_B = BA \cos \theta$ [...]

Legge di Faraday

Una FEM indotta in un avvolgimento di N spire è dovuta al cambiamento del flusso magnetico, ovvero $\epsilon = -N * \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$.

$$\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = -NA \left(\frac{\Delta B}{\Delta t} \right).$$

Per indurre una FEM si può o variare il campo, o variare la spira o cambiare l'angolo tra il campo (B) e la spira (di area A).

Legge di Lenz

Gli effetti dell'induzione magnetica si oppongono alle cause che li generano, e per questo è presente un - nella

formula: sia ϕ_B^{est} il flusso di un campo magnetico variabile, $\frac{\Delta \phi_B^{est}}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta \phi_B^{indotto}}{\Delta t}$ e se il delta dell'esterno è positivo, quello dell'indotta deve essere negativo.

AUTOINDUZIONE

L'autoinduzione si manifesta quando un avvolgimento che trasporta corrente induce una fem su se stesso (se si ha un brusco calo di corrente, per un certo tempo si ha questo fenomeno, che si verifica finché la corrente cambia).

CAMPI ELETTRICI INDOTTI

Mentre per i campi elettrici conservativi (quelli normali), l'origine del campo è una carica, per i campi indotti sono i campi B variabili. Le linee di campo, inoltre, sono chiuse, non possono essere descritte da un potenziale elettrico (non ha senso scrivere il lavoro come differenza dell'energia potenziale, dato che la forza NON è conservativa) e il lavoro su un percorso chiuso può non essere nullo.

ONDE ELETTROMAGNETICHE

Con l'introduzione del concetto dei campi magnetici variabili, è necessario rivisitare la legge di Ampere, che permette al momento di calcolare il campo magnetico prodotto da una corrente costante nel tempo (corrente di conduzione). In presenza di cariche accelerate (e quindi di campi magnetici e elettrici da esse generati), però, questa legge risulta essere inappropriata.

LEGGE DI AMPERE-MAXWELL

Supponiamo di avere un conduttore di raggio R percorso da una corrente I. Il filo viene tagliato, e le due facce delle metà fanno da piastre di un condensatore. Sulla faccia inferiore si formano cariche $\Delta Q = I\Delta t$ e sull'altra l'esatto opposto. Appliciamo la legge di Ampere al cammino circolare che include il conduttore inferiore. La circuitazione di B deve essere proporzionale alla corrente che attraversa qualunque superficie che si appoggia al cammino circolare. Per la superficie S1 otteniamo il campo magnetico di un filo rettilineo, per la S2 invece non viene attirata da alcuna corrente, e dovrebbe esser nullo il campo magnetico. Tuttavia attraverso la superficie S2 c'è un flusso non nullo di campo elettrico che aumenta man mano che aumentano le cariche $E = \frac{\Delta Q}{\epsilon_0 \pi R^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ e quindi $\frac{\Delta \phi_E}{\Delta t} = \frac{I}{\epsilon_0}$.

In base a questo, Maxwell intuì che la legge di Ampere andava modificata in modo di includere situazioni dipendenti

dal tempo $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I + \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt} \right)$ (per la forma senza derivate, guarda quella prima), ovvero il campo magnetico può essere generato sia dalle correnti elettriche di conduzione che dai campi elettrici variabili nel tempo, con il secondo elemento tra parentesi che viene chiamata “corrente di spostamento”. Le linee di \mathbf{B} sono sempre chiuse e sono concatenate ad una corrente, ad un campo elettrico o a entrambi.

EQUAZIONI DI MAXWELL

Legge di Gauss per l'elettrostatica

I campi elettrostatici sono generati dalle cariche elettriche:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Legge di Gauss per il magnetismo

Non esistono monopoli magnetici:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Legge di Ampere-Maxwell

Una corrente elettrica o un campo elettrico variabile generano un campo magnetico:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt}$$

Legge di Faraday

Un campo magnetico variabile produce un campo elettrico:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

Nel vuoto, in assenza di cariche e correnti di conduzione, le quattro equazioni di Maxwell nelle incognite \mathbf{E} e \mathbf{B} sono simmetriche, con \mathbf{E} e \mathbf{B} perpendicolari tra loro e variano nello spazio mantenendosi perpendicolari alla direzione di propagazione. Combinandole si possono trovare le seguenti equazioni (d indica la derivata):

$$\frac{d^2 \mathbf{E}}{dy^2} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 d^2 \mathbf{E}}{dt^2}, \frac{d^2 \mathbf{B}}{dy^2} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 d^2 \mathbf{B}}{dt^2}$$

ONDE PERIODICHE

Un'onda periodica si ripete uguale a sé stessa nello spazio e nel tempo. La velocità dell'onda è uguale a $v = \lambda f$, dove f è la frequenza e λ è la lunghezza d'onda.

Il risultato delle equazioni (sia per il campo elettrico sia per il campo magnetico) scritte è $E_z = E_m \sin(ky - \omega t + \phi)$ che è detta equazione dell'onda piana (se il campo ha inizialmente un valore massimo si usa un coseno, diversamente un seno), dove E_m è l'ampiezza, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ è il numero d'onda, $\omega = 2\pi f$ è la frequenza angolare e ϕ la costante di fase. $c = \lambda f = \frac{\omega}{k}$ è la velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel vuoto (velocità della luce).

La soluzione per entrambe le equazioni, quindi, è un'onda sinusoidale nella quale i moduli dei due campi variano nello spazio e nel tempo in modo periodico, con $E = E_{massima} \cos(ky - \omega t)$, $B = B_{massima} \cos(ky - \omega t)$.

Chiamiamo onda elettromagnetica l'insieme di questi due campi.

Dalle equazioni si ricava anche che $E = cB$, ed è possibile indicare che l'onda elettromagnetica trasporta energia, acquisita dalla sorgente che l'ha emessa e si distribuisce per metà tra \mathbf{E} e \mathbf{B} . In una situazione dipendente dal tempo il campo \mathbf{E} non può esistere senza quello \mathbf{B} e viceversa. La velocità in un mezzo non supererà MAI quella nel vuoto.

Un'onda EM si genera applicando una ddp nel tempo in modo periodico ad una antenna. Se la carica oscilla (ovvero cambia la sua polarità in conseguenza al cambio di ddp) con frequenza f , l'onda risultante varierà nel tempo con la stessa frequenza.

RIVELAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO DELL'ONDA EM

Per misurare il campo elettrico dell'onda elettromagnetica è necessario collocare un'antenna ricevente nella direzione del campo elettrico. Il campo magnetico è rilevabile collocando una spira di materiale conduttore perpendicolarmente a B , e si viene così a generare un flusso di B all'interno variabile nel tempo ed è quindi possibile misurare la corrente indotta. I nostri occhi percepiscono solo una parte ridotta dello spettro EM, quella della luce.

FISICA MODERNA

SPETTROSCOPIA DI EMISSIONE/ASSORBIMENTO DI GAS E SOLIDI

Un gas portato ad alta temperatura emette luce secondo uno spettro a righe (solo specifiche frequenze), con ogni elemento che possiede il suo insieme di righe spettrali, mentre un solido emette luce con uno spettro continuo.

Balmer trovò che $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$ rende conto della distribuzione delle lunghezze d'onda emesse da un gas di atomi di

idrogeno nel visibile, dove $n \geq 3$, $R = 1.097 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$. Il modello atomico dell'epoca era il modello di Thomson, che prevedeva la carica positiva distribuita uniformemente sul volume atomico, con gli elettroni immersi in esso.

Rutherford dimostrò con un esperimento (una sorgente di polonio genera degli atomi di elio, che vengono orientati contro una lamina d'oro praticamente monoatomica, dietro la quale c'era uno schermo per la rilevazione) che la maggior parte della massa dell'atomo era nel nucleo, con gli elettroni in orbita (intuito perché c'erano degli spazi vuoti che permettevano la deviazione della particella, ovvero un nucleo positivamente carico che devia le particelle o le ricaccia indietro). L'elettrone, dato che è in orbita intorno all'atomo, ha una certa velocità e genera un certo campo magnetico. Questo però vuol dire che gli elettroni perdono energia, e di conseguenza dovrebbero cadere verso l'atomo, ma questo non è vero. Al modello di Rutherford segue il modello di Bohr, o semiclassico. In questo modello, gli elettroni occupano solo stabilmente stati di fissata energia e raggio, chiamati stati stazionari, $F = ma \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{8^2}$ dove Z è il numero atomico (numero protoni + numero elettroni).

Una grandezza fisica si dice continua se i possibili che essa può assumere sono distribuiti in modo continuo in un intervallo di valori, mentre viene detta quantizzata se possono essere rappresentati solo alcuni valori (ad esempio la carica, sempre multipla di e). Nel modello di Bohr valgono le leggi della fisica classica per l'elettrone nello stato stazionario. L'elettrone può passare da uno stato all'altro assorbendo o emettendo energia pari alla differenza di energia degli stati stazionari di partenza e arrivo ($\Delta E = hf$, dove f è la frequenza e h è la costante di Planck). La condizione di quantizzazione che identifica gli stati stazionari è $mv_n 2\pi r_n = nh$ dove n è un intero positivo e h è la costante di Planck ($h = 6.63 \cdot 10^{-34} Js$). I raggi delle orbite stazionarie sono $r_n = \frac{n^2 h^2}{m_e k e^2} = n^2 a_0$ dove $a_0 = 52.9 pm$

(raggio dell'elettrone nell'atomo di idrogeno). Gli stati stazionari hanno un'energia pari a $E_n = \frac{m_e k^2 e^4}{2n^2 h^2} = \frac{E_1}{n^2}$ dove $E_1 = -13.6 eV$ e se $n > 1$ indica che l'elettrone è in uno stato eccitato, con n che prende il nome di numero quantico principale. $eV = e \cdot \Delta V$. Le orbite aumentano con il quadrato di n , mentre le energie diminuiscono.

Questo modello va in frantumi nel momento in cui in un atomo ci sono più atomi, e con il tempo si è prevista una modifica per permettere al modello di funzionare. Se non parliamo dell'idrogeno, si ha che $r_n = \frac{n^2 a_0}{Z}$, $E_n = \frac{Z^2 E_1(\text{idrogeno})}{n^2}$ dove Z è il numero atomico dell'atomo. Ogni volta che un elettrone "salta" si libera al massimo un fotone. Due elettroni non possono occupare lo stesso stato ovvero devono avere almeno un numero quantico differenti (principio di esclusione di Pauli).

Un atomo isolato può emettere soltanto fotoni di energia E corrispondente alla differenza tra due diversi livelli atomici.

SEMICONDUTTORI

I semiconduttori hanno radicalmente cambiato la nostra vita, grazie alla loro applicazione nel campo dell'elettronica.

LA STRUTTURA

Nella tavola periodica, elementi nello stesso gruppo hanno proprietà simili. Nel silicio gli atomi sono tenuti insieme da legami covalenti, ovvero condividono gli elettroni. Il legame è tetraedrico, ed è fortemente direzionale. Silicio cristallino e silicio amorfo hanno una struttura atomica completamente diversa.

In un atomo, i livelli energetici sono distribuiti secondo distribuzione discreta. Se due atomi non interagiscono, allora hanno livelli atomici doppiamente degeneri, mentre se interagiscono si verifica la separazione dei livelli atomici (più lo stato è esterno, più è maggiore lo sdoppiamento).

Le bande di energia vengono quindi fuori dagli stati energetici dell'atomo, che dà la possibilità a 10^{23} bande (tante quante gli elettroni da sistemare su uno stato energetico). A seconda di come gli elettroni si distribuiscono, avremo caratteristiche fisiche diverse (quelle occupate sono vietate, quelle vuote sono "permesse"). [Slide 10 per dettagli]

Questo modello ci fa capire perché nei solidi gli spettri di emissione sono continui e negli atomi sono discreti, ovvero perché l'unico modo in cui un elettrone può assorbire energia è spostarsi ad un altro livello (quindi assorbe un fotone), mentre scendendo ne emette un altro. Un solido emette uno spettro continuo, invece, a causa delle transizioni elettroniche tra stati della stessa banda o di bande diverse.

Se gli elettroni di un solido a $T=0K$ riempiono le bande in modo che l'ultima banda piena (banda di valenza) sia completamente piena, allora il materiale è o un semiconduttore o un isolante. La banda di valenza è separata dalla banda di conduzione da un gap di energia (di ordine di grandezza di $10eV$). Se si applica una ddp ad un isolante, l'elettrone non riesce a superare il gap e non raggiunge la banda di valenza e, non potendosi muovere, non conducono. Un conduttore ha banda di valenza con la banda di conduzione sovrapposta alla prima. Un semiconduttore, invece, ha la stessa divisione dell'isolante, MA il gap è molto più piccolo, e questo permette lo spostamento di elettroni.

PROPRIETÀ

I semiconduttori sono importanti perché, mentre i metalli conducono solo gli elettroni, questi conducono anche per cariche positive e, inoltre, il numero di elettroni per la conduzione può essere cambiato effettuando il drogaggio dei semiconduttori (inoltre la conducibilità aumenta aumentando la temperatura). Il motivo per il quale vengono condotte cariche positive e cariche negative è che, nella situazione dell'isolante, la banda piena non conduce e il materiale è complessivamente neutro. Un elettrone, per eccitazione termica, può acquistare energia a liberarsi dal legame chimico e muoversi liberamente nel cristallo, creando sull'atomo di partenza una lacuna. In altri termini, un elettrone viene promosso dalla banda di valenza alla banda di conduzione, lasciando una lacuna in quella di valenza e, sotto l'azione di un campo elettrico, l'elettrone libero può muoversi liberamente. In banda di valenza gli elettroni che premono per muoversi fanno muovere la lacuna in verso opposto, e la lacuna viene accelerata dal campo proprio come una carica positiva. Nei semiconduttori, a basse temperature la banda di valenza è piena e quella di conduzione vuota, con un gap di larghezza ΔE confrontabile con l'energia termica, mentre a temperatura normale alcuni sono già promossi.

Un semiconduttore si dice di tipo n se conduce prevalentemente elettroni, mentre si dice di tipo p se conduce prevalentemente per lacune. Il numero di elettroni può essere aumentato o ridotto mettendo al posto di un atomo del semiconduttore un atomo di qualcos'altro, ad esempio il boro o simili. Se droghiamo il semiconduttore con un elemento del gruppo 5 (elettrone in stato donore, che si genera nel gap), aggiungiamo l'elettrone, mentre se usiamo il gruppo 3 allora ne perde uno (elettrone in stato accettore, che si genera nel gap). All'aumentare della temperatura nei conduttori il numero di elettroni trasportati rimane costante, mentre nei semiconduttori aumenta molto il numero di elettroni e/o lacune e questo effetto è dominante rispetto all'aumento dell'attrito prodotto dall'agitazione termica, aumentando la conducibilità, e il drogaggio aumenta di molto la conducibilità.