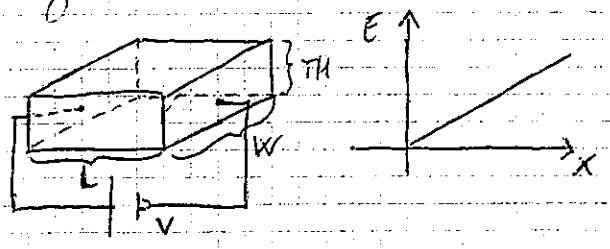
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

DISPOSITIVI ELETTRONICI

LA CONDUZIONE NEI METALLI

La conduzione in un metallo è schematizzata nel seguente modo



$A = W \cdot TH$ $\quad V(0) = 0$

$E = \frac{V}{L}$ $\quad V(L) = E \cdot L$

$V(x) = E \cdot x$

~~Secondo~~ Gli elettroni sono liberi di muoversi nel conduttore. Questo è leggermente inesatto, perché, se così fosse, essi avrebbero un'accelerazione costante, cosa che non è così.

In generale, la velocità di un elettrone è data da $\langle \frac{1}{2} m v_i^2 \rangle = \frac{3}{2} KT$

Qual è la velocità ~~a~~ media a potenziale nullo?

Possiamo presupporre, ~~che~~ essendoci molti elettroni in un metallo, che per ogni elettrone a velocità nota ce n'è sempre un altro di velocità uguale ed opposta (legge dei grandi numeri). Quindi, $\langle v \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{n} = 0$

Se, invece, ~~ha~~ il campo elettrico è $E = V/L$, abbiamo che la velocità diventa $v_i + \frac{ft}{m_0} = v_i - \frac{qEt}{m_0}$. Per cui,

$$\langle v \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(v_i - \frac{qEt}{m_0} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} v_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{qEt_i}{m_0}$$ #. Indicando

con $\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} t_i$ il tempo di rilassamento, e con $\mu_n = \frac{q}{m_0} \tau$,

$$\langle v \rangle = -\mu_n \cdot E$$

Questa espressione ha analogie con la forza di attrito viscoso. μ_n ha unità di misura $m^2/V \cdot s$.

Definiamo, inoltre, densità di corrente $J = -q \cdot n \cdot \langle v \rangle = -q \cdot n \cdot (-\mu_n E) = q n \mu_n E$.

Indicando con $\sigma = q n \mu_n$ la conducibilità, otteniamo che $J = \sigma E$. σ ha unità di misura $1/(\Omega \cdot m)$.

Dall'ultima relazione ricaviamo la prima legge di Ohm:

$$j = \sigma E \Rightarrow \frac{I}{A} = \sigma \cdot \frac{V}{L} \Rightarrow V = \frac{LI}{A\sigma} = \frac{\rho L}{A} I$$

Normalmente,

METALLI: $\sigma \sim 10^5 / 10^7\ \Omega^{-1} cm^{-1}$

SEMICONDUTTORI: $0,1 / 10^2\ \Omega^{-1} cm^{-1}$

ISOLANTI: $\sigma \sim 10^{-6}\ cm^{-1} \Omega^{-1}$

EQUAZIONE DELLA NEUTRALITÁ DELLA CARICA

In un metallo, la carica elettrica é neutra. Quindi,

$$-q n + q N_{MET} = \phi$$

PROPRIETÁ ELETTRICHE NEI SOLIDI

Ricordiamo che il principio di indeterminazione di Heisenberg, afferma che, monodimensionalmente,

$$\Delta X \, \Delta p_x \geq \frac{h}{2}$$

ΔX é lo spostamento, Δp_x la variazione di quantitá di moto, $h = h/2\pi$, dove h é la costante di Planck, che vale $6,626 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$

Nella fisica classica, abbiamo poi che

$$E = \frac{1}{2} m_0 v^2 + U(X)$$

Nella fisica quantistica, si ha, ~~non~~ invece,

$$E\varphi(X) = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial X^2} + U(X)\varphi(X)$$

dove $\varphi(X)$ é la funzione d'onda, funzione che fornisce la probabilitá di trovare l'elettrone tra due posizioni a e b con l'espressione $\int_a^b |\varphi(X)|^2 dX$. Nel determinare $\varphi(X)$, si avrá, quindi, come condizione al contorno, che $\int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(X)|^2 dX = 1$.

Supponendo ora l'energia potenziale nulla

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial X^2} - E\varphi(X) = 0$$

$$\frac{\hbar^2}{2m} \alpha^2 = E$$

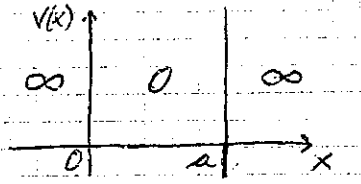
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

$$\alpha = \pm j\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \Rightarrow \varphi(x) = Ae^{jkx} + Be^{-jkx} = C\,sen(kx+\gamma)$$

con $k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} = \frac{2\pi}{\lambda}$.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Poniamo ora che tra 0 e a ci sia una buca di potenziale ossia $V(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } 0 \le x \le a \\ \infty & \text{se } |x| > a \end{cases}$. Quindi,



$\varphi(0) = 0 \Rightarrow C\,sen(\gamma) = 0 \Rightarrow \gamma = 0$

$\varphi(a) = 0 \Rightarrow C\,sen(ka) = 0 \Rightarrow k = n\pi,\ n \in \mathbb{N}$

Abbiamo, inoltre, ricavato che

$$k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \Rightarrow E = \frac{k^2\hbar^2}{2m}$$

$$E = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow \frac{p^2}{2m} = \frac{k^2\hbar^2}{2m} \Rightarrow p = k\hbar = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{h}{2\pi} = \frac{h}{\lambda}$$

~~Consideriamo ora un elemento di volume $L_x L_y L_z$. Abbiamo che~~

~~$\varphi(0) = \varphi(L_x)$~~

~~$Ae^{jk0} = Ae^{jkL_x}$~~

Senza dimostrazione, diciamo che

$$E = \frac{k^2\hbar^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m}(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) = \frac{\hbar^2}{2m}\left[\left(n\frac{2\pi}{L_x}\right)^2 + \left(m\frac{2\pi}{L_y}\right)^2 + \left(r\frac{2\pi}{L_z}\right)^2\right]$$

Questo significa che l'energia degli elettroni nei solidi è quantizzata, cioè non può assumere qualsiasi valore

Definiamo ora densità di stati la quantità

$$D(E) = \frac{n^\circ \text{ stati permessi}}{\text{volume} \cdot \text{energia}} \left[\frac{1}{eV\,cm^3}\right]$$

In un solido, detta $n(E)$ la concentrazione di elettroni in un volume a una certa energia, vale che

$$n(E)\,dE = 2 \cdot D(E) \cdot \varphi(E) \cdot dE$$

Per trovare il numero di elettroni, si calcola

$$n = \int_0^\infty 2 \cdot D(E)\,\varphi(E)\,dE$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Una volta assegnata un'energia, gli elettroni sono presenti in una superficie sferica. Considerando una certa variazione di energia, abbiamo che

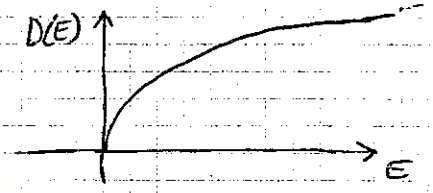
$$D(E)\,dE = n^\circ \text{ stati con energia } (E, E+dE) = \frac{4\pi k^2}{(2\pi)^3}\,dk \cdot 2$$

Il 2 è dovuto al principio di esclusione di Pauli. Inoltre,

$$D(E)\,dE = 2 \cdot \frac{4\pi}{8\pi^3} k^2 \cdot \frac{2m}{\hbar^2} \cdot \frac{1}{k}\,dE \quad \left(\text{perché } E = \frac{k^2\hbar^2}{2m} \Rightarrow k = \frac{2mE}{k\hbar^2}\right)$$

$$D(E) = 2 \cdot \frac{4\pi}{2\pi}\sqrt{\frac{2mE}{\left(\frac{\hbar}{2\pi}\right)^2}} \cdot \frac{m}{\hbar^2} = 4\pi\left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{E} = A\sqrt{E}$$

L'andamento di $D(E)\,dE$ è quello riportato nel grafico. Se $E=0$, non saranno presenti elettroni nella superficie sferica associata.



In due dimensioni avremo che $d(E)\,dE = 2 \cdot \frac{2\pi k}{(2\pi)^2}\,dk$

LA TEMPERATURA NEI SOLIDI

In un solido, gli atomi sono disposti secondo un reticolo cristallino. All'aumentare della temperatura l'atomo comincia sempre più a oscillare attorno alla sua posizione di equilibrio. Gli elettroni, invece, acquisiscono una certa energia cinetica.

Definiamo con $n(E)$ densità di elettroni

$$n(E) = \frac{\text{numero elettroni}}{\text{volume} \cdot \text{energia}} \left[\frac{1}{eV\,cm^{-3}}\right]$$

Tale densità, nella fisica classica, segue un andamento simile alla diffusione dei gas: $n(E) = Ae^{-\frac{E}{KT}}$ con K costante di Boltzmann, del valore di $8{,}633 \cdot 10^{-5}\ eV/K$.

Nella fisica quantistica, tuttavia, abbiamo gli stati permessi per cui tale legge non è più valida.

Definiamo ora, la seguente buca di potenziale:

$$V(x) = \begin{cases} V & \text{se } |x| > a \\ 0 & \text{se } 0 \le x \le a \end{cases}, \text{ con } T = 0\,K$$

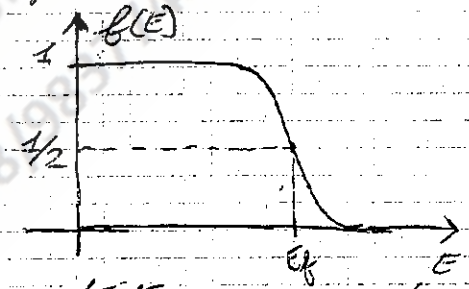
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Se $E < E_f$, allora $n(E) = D(E)$
Se $E > E_f$, allora $n(E) = 0$
Infatti, abbiamo supposto il cosiddetto modello dell'elettrone libero. L'elettrone considerato risente del potenziale dei protoni e degli elettroni dell'atomo, complessivamente positivo. Quindi, gli elettroni saranno presenti ~~ne~~ solo nella buca.
E_f è la cosiddetta energia di Fermi e si calcola nel seguente modo

$$n = \int_0^{E_f} n(E)\,dE = \int_0^{E_f} 4\pi \left(\frac{2m}{h^2}\right)^{3/2} \sqrt{E}\,dE = 4\pi \left(\frac{2m}{h^2}\right)^{3/2} \frac{2}{3} E_f^{3/2}$$

$$E_f = \left(\frac{n}{4\pi}\left(\frac{2m}{h^2}\right)^{-3/2} \cdot \frac{3}{2}\right)^{2/3} \#\#$$

Se $T \neq 0\,K$, abbiamo che $f(E) = \dfrac{1}{1 + e^{\frac{E-E_f}{K \cdot T}}}$, dove $f(E)$ è la probabilità di trovare uno stato occupato ad una determinata ~~temperatura~~ fissata.
~~Se $E = E_f$, la probab~~ Si può ora dare una vera e propria definizione dell'energia di Fermi: essa è quell'energia ~~che~~ per cui la probabilità di trovare uno stato occupato è pari a $1/2$. Ovviamente $1 - f(E)$ dà la probabilità di non trovarlo occupato.



Il livello in cui il potenziale è posto nullo è detto livello vuoto ed è rispetto a esso che si misura l'energia di Fermi. $qV - E_f$ è l'energia ~~f~~minima ~~eff~~ da fornire al metallo affinché esso ceda l'elettrone e si indica con $q\Phi_n$, ~~con~~ affinità elettronica
~~Facciamo~~ Inoltre, KT/q a 300 K vale 0,0258 eV

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

L'EFFETTO TERMOIONICO

Avevamo ~~detto~~ precedentemente detto che in un metallo

$$n = \int_0^{\infty} f(E)\,D(E)\,dE \# \int_0^{\infty} n(E)\,dE$$