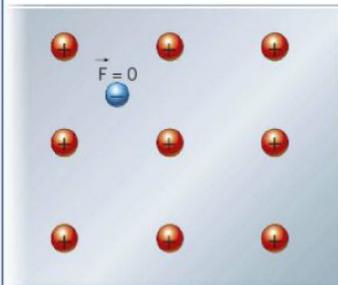


7 L'ESTRAZIONE DEGLI ELETTRONI DA UN METALLO

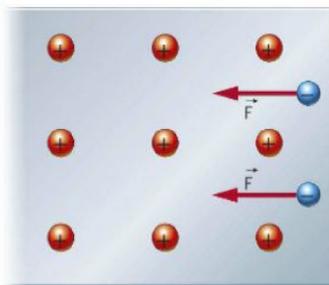
In condizioni normali gli elettroni liberi non escono dai metalli.

► All'interno del metallo, un elettrone è circondato da ogni parte dagli ioni del reticolo e la risultante delle loro forze di attrazione su di esso è nulla.



A

► Vicino alla superficie ciò non è più vero, perché le forze dovute agli ioni che si trovano da una parte non sono equilibrate da ioni che siano dalla parte opposta.



B

Come risultato, su un elettrone posto vicino alla superficie del metallo agisce una forza elettrica rivolta verso l'interno, che gli impedisce di uscire dal metallo stesso. Se si vuole estrarre un elettrone dal metallo, è necessario fornirgli energia.



Si chiama **lavoro di estrazione** il minimo lavoro che occorre compiere per fare uscire un elettrone da un metallo.

Un elettrone all'interno di un metallo possiede un'energia totale \mathcal{E}_{Tot} che è pari alla somma della sua energia cinetica K (che è sempre positiva) e della sua energia potenziale U . Visto che l'elettrone è soggetto alla forza *attrattiva* del reticolo di ioni positivi, con la solita scelta di porre uguale a zero l'energia potenziale dei punti infinitamente lontani dalle cariche, il valore di U è negativo.

Un elettrone fermo appena al di fuori del metallo ha energia cinetica e potenziale pari a zero (l'energia potenziale è uguale a quella che lo stesso elettrone avrebbe all'infinito, cioè nulla, perché al di fuori del reticolo cristallino non si avvertono forze elettriche). Quindi la sua energia totale è nulla.

Siccome l'elettrone non esce spontaneamente dal metallo, dobbiamo dedurre che la sua energia totale, quando si trova nel reticolo cristallino, è negativa:

$$\mathcal{E}_{Tot} = K + U < 0. \quad (20)$$

Il minimo lavoro capace di estrarre un elettrone dal metallo è quello che consente di passare dal valore negativo di \mathcal{E}_{Tot} dato dalla (20) al valore nullo. Quindi il lavoro di estrazione risulta

$$W_e = 0 - \mathcal{E}_{Tot} = -\mathcal{E}_{Tot}. \quad (21)$$

Il potenziale di estrazione

Un modo semplice per fornire energia a un elettrone consiste nel sottoporlo a una differenza di potenziale elettrico.

Per questa ragione è conveniente introdurre una nuova grandezza, il *potenziale di estrazione* V_e :



il **potenziale di estrazione** di un elettrone da un metallo è la differenza di potenziale (considerata positiva) a cui deve essere sottoposto un elettrone per fornirgli una quantità di energia pari al lavoro di estrazione.

Da questa definizione si ricava la formula

$$V_e = \frac{W_e}{e} \quad (22)$$

dove e è la carica elementare.

L'elettronvolt

È comodo misurare il lavoro di estrazione in *elettronvolt* (eV):



un **elettronvolt** è l'energia acquistata da una carica con modulo pari alla carica elementare e , quando è accelerata da una differenza di potenziale di un volt.

In base alla definizione e alla formula $W = q\Delta V$ si trova:

$$1 \text{ eV} = e \times (1 \text{ V}) = (1,60 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}. \quad (23)$$

L'elettronvolt è un'unità di misura che non appartiene al Sistema Internazionale, ma che è molto usata nello studio dei fenomeni atomici e subatomici. Per esempio, per ionizzare un atomo di idrogeno che si trova in condizioni normali occorre un'energia pari a

$$\frac{2,18 \times 10^{-18} \text{ J}}{1,60 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}} = 13,6 \text{ eV}.$$

Allo stesso modo, come mostra la tabella seguente i lavori di estrazione degli elettroni dai metalli sono dell'ordine di qualche eV.

Osserviamo che i potenziali di estrazione – espressi in volt – sono numericamente uguali ai lavori di estrazione espressi in elettronvolt, perché i valori numerici di entrambe le grandezze si ottengono dividendo il lavoro di estrazione (espresso in joule) per la quantità $1,60 \times 10^{-19}$.

Nella descrizione dei fenomeni nucleari e subnucleari si usano multipli dell'elettronvolt: 1 MeV vale un milione di eV (10^6 eV) e un GeV vale un miliardo di eV (10^9 eV).

Lavoro di estrazione e potenziale di estrazione di elettroni da diversi metalli

Metallo	Potenziale di estrazione (V) Lavoro di estrazione (eV)
Argento (Ag)	4,70
Calcio (Ca)	3,20
Ferro (Fe)	4,63
Nichel (Ni)	4,91
Potassio (K)	2,25
Rame (Cu)	4,48
Sodio (Na)	2,28
Torio (Th)	3,47
Zinco (Zn)	4,27



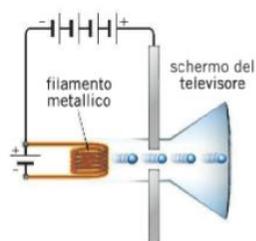
Per esempio, nell'acceleratore LHC (Large Hadron Collider) del CERN di Ginevra, il cui percorso sotterraneo di 27 km è mostrato nella fotografia a lato, i protoni sono portati a un'energia di 3500 GeV, cioè $3,5 \times 10^{12}$ eV. Questa energia è pari a 3,5 TeV, dato che T è il simbolo del "tera", che corrisponde al fattore 10^{12} .

L'effetto termoionico

Si può fornire energia agli elettroni scaldando il metallo in cui si trovano. L'aumento di temperatura provoca un aumento dell'energia cinetica media degli elettroni. Così, alcuni di essi acquistano un'energia maggiore del lavoro di estrazione e possono uscire dal metallo.

Tra gli elettroni che hanno questa proprietà, soltanto quelli che si trovano vicino alla superficie del metallo e con il vettore velocità rivolto verso l'esterno riescono a sfuggire.

L'estrazione di elettroni da un metallo mediante riscaldamento si chiama **effetto termoionico**.



Esso è utilizzato nei vecchi televisori e monitor a tubo catodico per creare il fascio di elettroni che «disegna» l'immagine sullo schermo. Come si vede nella figura 12, gli elettroni sono emessi da un filamento metallico (l'elettrodo negativo) reso incandescente dalla corrente elettrica. Gli stessi elettroni, poi, sono accelerati verso un elettrodo positivo e formano il «penello» che giunge sullo schermo.

L'effetto fotoelettrico

Un altro modo per fornire energia agli elettroni di conduzione consiste nell'illuminare il metallo con luce visibile o ultravioletta, a seconda del metallo considerato (figura 13). La luce trasporta energia che può essere assorbita dagli elettroni vicini alla superficie del metallo; in questo modo alcuni di essi, avendo ricevuto un'energia maggiore del lavoro di estrazione, riescono a sfuggire all'esterno.

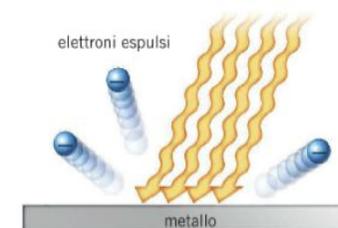


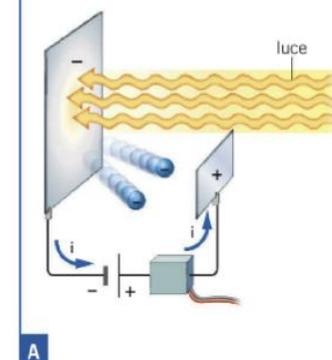
Figura 13 Una lastra di metallo emette elettroni per effetto fotoelettrico.



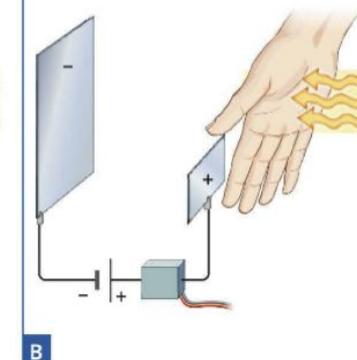
L'estrazione di elettroni ottenuta illuminando il metallo si chiama **effetto fotoelettrico**.

L'effetto fotoelettrico permette la costruzione delle *celle fotoelettriche*, quei dispositivi che, per esempio, impediscono che un cancello elettrico si chiuda quando passa un veicolo o una persona.

► In condizioni normali, un fascio di luce colpisce la cella fotoelettrica e provoca l'emissione degli elettroni. Nel circuito esterno circola corrente.



► Se qualcosa interrompe il fascio di luce, dal metallo non escono più elettroni: nel circuito esterno non circola corrente e il cancello si blocca.



8 L'EFFETTO VOLTA

All'inizio dell'Ottocento Alessandro Volta scoprì un importante fenomeno, nel quale tra due metalli posti a contatto si stabilisce una differenza di potenziale. In termini moderni, la sua scoperta (detta **effetto Volta**) si può esprimere dicendo che



mettendo a contatto due metalli, tra di essi si instaura una differenza di potenziale uguale alla differenza, cambiata di segno, tra i rispettivi potenziali di estrazione.

Enunciato equivalente dell'effetto Volta

La differenza di potenziale tra i due metalli a contatto è anche numericamente uguale alla differenza, cambiata di segno, tra i loro lavori di estrazione, espressi in elettronvolt.

APPROFONDIMENTO

Il diodo termionico (2 pagine)

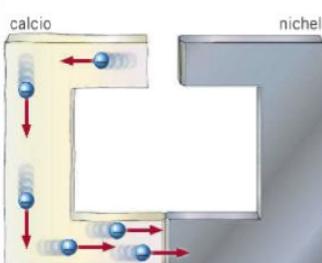


Figura 12 Il filamento metallico ad alta temperatura emette elettroni per effetto termoionico.

Questa differenza di potenziale dipende dalle caratteristiche fisiche dei due metalli posti a contatto (temperatura, stato di ossidazione delle superfici...) ma non dalla forma e dalle dimensioni dei due pezzi di metallo e neppure dall'area delle superfici di contatto.

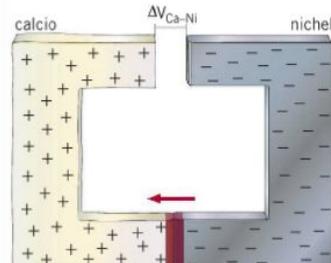
Per discutere come mai ciò avviene, immaginiamo di unire un pezzo di calcio fatto a U e uno simile di nichel. Il potenziale di estrazione di un elettrone dal calcio vale 3,20 V, mentre il valore del potenziale di estrazione del nichel è 4,91 V. Ciò vuol dire che gli elettroni liberi del nichel sono più legati di quelli che si trovano nel calcio.

► Quindi, un certo numero di elettroni passa dal calcio al nichel. Così, il nichel acquista una carica negativa, mentre il calcio si carica positivamente.



A

► Il flusso di elettroni cessa quando, tra i due metalli, si è instaurata una differenza di potenziale che tende a far passare gli elettroni dal nichel al calcio.



B

forza elettrica sugli elettroni

All'equilibrio questi due meccanismi si compensano: la differenza di potenziale dovuta al contatto tra i metalli è uguale e opposta alla differenza tra i loro due potenziali di estrazione. Nel caso del calcio e del nichel tale differenza di potenziale è

$$\Delta V_{\text{Ca-Ni}} = - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Ni})] = - (3,20 - 4,91) \text{ V} = 1,71 \text{ V}. \quad (24)$$

La catena di più metalli

Supponiamo di mettere a contatto tre metalli. Per esempio, inseriamo un blocco di zinco tra il calcio e il nichel dell'esempio precedente. La differenza di potenziale che si instaura tra calcio e zinco è

$$\Delta V_{\text{Ca-Zn}} = - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Zn})]$$

mentre quella che si genera tra zinco e nichel è

$$\Delta V_{\text{Zn-Ni}} = - [V_e(\text{Zn}) - V_e(\text{Ni})].$$

Allora la differenza di potenziale ΔV_{Tot} tra il calcio e il nichel è la somma delle tensioni create a causa dei due contatti (figura 14) e risulta

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{Tot}} &= \Delta V_{\text{Ca-Zn}} + \Delta V_{\text{Zn-Ni}} = - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Zn})] - [V_e(\text{Zn}) - V_e(\text{Ni})] = \\ &= - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Zn}) + V_e(\text{Zn}) - V_e(\text{Ni})] = - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Ni})]. \end{aligned}$$

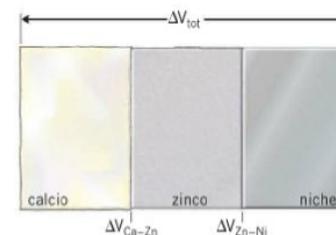


Figura 14 La differenza di potenziale tra calcio e nichel è uguale a quella tra calcio e zinco, più quella tra zinco e nichel.

La tensione ΔV_{Tot} che si instaura tra i due metalli estremi della catena risulta uguale alla differenza di potenziale $\Delta V_{\text{Ca-Ni}} = - [V_e(\text{Ca}) - V_e(\text{Ni})]$, data dalla formula (24), che si crea quando questi due metalli sono posti direttamente a contatto.

Questo esempio è un caso particolare della **legge dei contatti successivi**, scoperta anch'essa da Alessandro Volta:

! la differenza di potenziale tra i due metalli estremi di una catena di metalli è la stessa che si avrebbe se essi fossero posti a diretto contatto.

Volta si rese conto che non tutti i conduttori seguono la legge dei contatti successivi. Egli chiamò **conduttori di prima specie** quelli per i quali essa è valida (per esempio i metalli) e **conduttori di seconda specie** gli altri (per esempio le soluzioni diluite di sali o di acidi in acqua).

Combinando in modo opportuno conduttori di prima e di seconda specie Volta realizzò la **pila**, il primo generatore di tensione capace di fornire una corrente elettrica in modo continuo e non impulsivo (come avviene nella scarica di un conduttore).

Paderno Micheli, Museo del Dipartimento di Fisica Università "La Sapienza", Roma 1988



9 L'EFFETTO TERMOELETTRICO E LA TERMOCOPPIA

Si potrebbe pensare di utilizzare l'effetto Volta per mantenere una corrente in una catena metallica chiusa, come quella della figura 15. In realtà, se la coppia di metalli ha ovunque la stessa temperatura, ciò che avviene alla giunzione A è identico a ciò che accade alla giunzione B.

Se la differenza di potenziale dovuta al contatto A tende a trasportare gli elettroni dal rame allo zinco, lo stesso accade all'interfaccia B: non vi è alcun meccanismo che possa mantenere una corrente elettrica lungo il circuito.

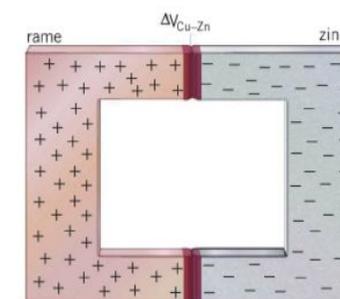


Figura 15 In una catena metallica chiusa, mantenuta alla stessa temperatura, non circola corrente.

Nel 1826, però, il fisico tedesco Johann Thomas Seebeck (1770-1831) scoprì che:

! in un circuito, formato da due metalli, in cui le due giunzioni sono mantenute a temperature diverse, fluisce una piccola corrente.