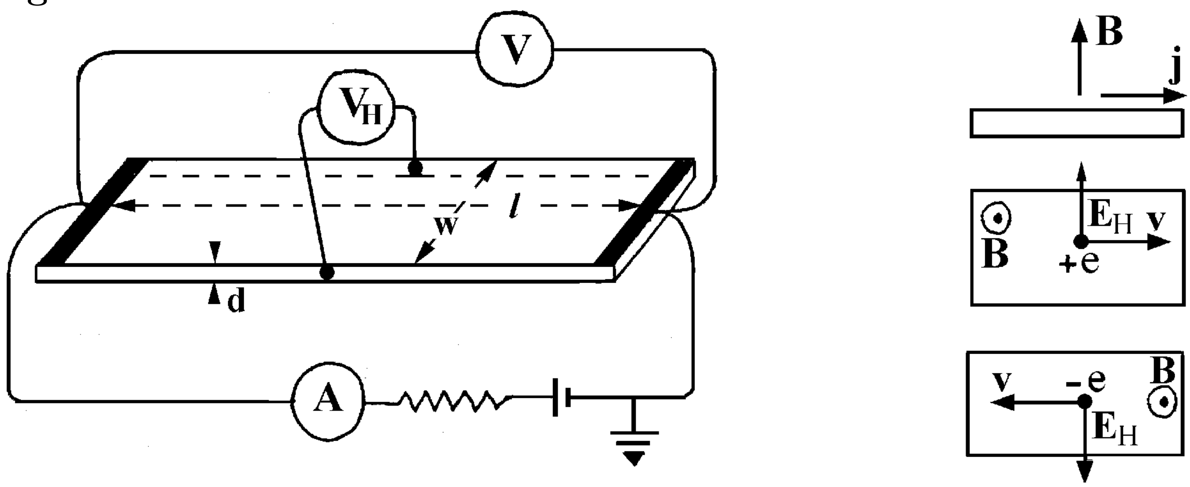
**ESERCIZI**

1) Ammettere che nel rame sia libero un elettrone per atomo e ricordare che il rame ha peso atomico 63, densità relativa 8.9 e conducibilità $6\ 10^7\ (\Omega m)^{-1}$. Valutare: a) la densità dei portatori, b) il tempo di rilassamento $\tau$ nell'ipotesi che la massa dei portatori sia quella dell'elettrone libero ( $m = 9.1\ 10^{-31}\ kg$), d) la velocità del fluido di portatori quando la densità di corrente raggiunge $10\ A/mm^2$.

## 5.4 Misure Hall di densità, segno e mobilità dei portatori, misure di B con sonda Hall

Con riferimento alla figura 3, pensiamo che un nastro conduttore o semiconduttore omogeneo abbia anche due contatti laterali ben contrapposti collegati ai morsetti di un voltmetro, e pensiamo che le resistenze dei voltmetri

**Fig. 5.3**




"longitudinale" e "trasverso" siano tanto grandi da non doverci preoccupare di correggere le letture. A regime l'amperometro misura la corrente $I$ nel nastro, il voltmetro longitudinale misura la tensione $V$ ai capi del nastro ed il voltmetro trasverso misura tensione nulla (i contatti sono contrapposti).

Ora introduciamo il nastro tra le espansioni polari di un magnete avendo cura che il suo piano sia ortogonale al campo magnetico. In tal caso può avvenire che il voltmetro trasverso segni una tensione $V_H$ positiva o negativa. L'indice $H$ viene usato per ricordare Hall che ha scoperto l'effetto nel tardo 800. Per capire l'origine e la straordinaria importanza dell'effetto Hall, cominciamo ad osservare che, in condizioni stazionarie, la densità di corrente $\mathbf{j}_f$ nel nastro è longitudinale e viene letta dall'amperometro come $j_f = I/(wd)$. Invece il campo ELETTRICO nel nastro ha una componente longitudinale che viene letta come $E_l = V/l$, e ha una componente trasversa che viene letta come $E_H = V_H/w$. Dunque la presenza del campo MAGNETICO rende anisotropa la conduzione: il campo ELETTRICO e la densità di corrente formano un angolo $\theta_H$, detto **angolo di Hall**, che può essere positivo o negativo ed è determinato dal rapporto

$$\tan\theta_H = \frac{E_H}{E_l} = \frac{V_H}{V}\,\frac{l}{w}$$

In generale l'effetto Hall può coinvolgere vari tipi di portatori e la sua interpretazione può essere molto complicata, ma diventa semplice nei materiali con mobilità unipolare. In tal caso la nuvola di portatori è soggetta alla densità di forza $nq[\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}]$ e si muove con velocità assiale, quindi $E_H + vB$ deve essere nullo e l'equazione 2) deve essere sostituita da $v = q\tau E_l/m$. Pertanto la tangente dell'angolo di Hall vale

$$\tan\theta_H = \frac{E_H}{E_l} = \frac{-vB}{mv/q\tau} = -\frac{q\tau}{m}B \tag{5.5}$$

e ha segni opposti per lacune ed elettroni, come mostrato negli inserti della figura. Le misure del valore assoluto di $\tan\theta_H$ e di $B$ forniscono i valori di una grandezza molto importante, la

$$\textbf{mobilità dei portatori} \quad \frac{e\tau}{m} = \frac{|\tan\theta_H|}{B}$$

Questa grandezza viene indicata con $\mu_n$ oppure con $\mu_p$ a seconda che i portatori siano negativi o positivi ed è importantissima proprio perché può essere misurata senza dover fare ipotesi sul tempo di rilassamento e sulla massa dei portatori. Per questa ragione, le misure di mobilità, condotte in funzione della temperatura e dei livelli di drogaggio, sono alla base della fisica e della tecnologia dei semiconduttori, e sono eseguite sistematicamente nei laboratori e nelle industrie che studiano e producono dispositivi a semiconduttore.

L'equazione 5) è importantissima anche per un'altra ragione: disponendo di un nastro con portatori unipolari di mobilità ben nota, possiamo costruire una **sonda Hall** capace di misurare il campo magnetico con grande accuratezza. Infatti le misure di $\theta_H$ per varie orientazioni del nastro forniscono modulo e verso del campo magnetico.

**ESERCIZI**

1) Mostrare che la mobilità ha dimensione inversa di quella del campo magnetico $B$.

2) A $T$ ambiente un metallo ha mobilità $\mu_n \approx 2\ 10^{-3}\ T^{-1}$ e conducibilità elettrica $g \approx 5\ 10^7\ (\Omega m)^{-1}$. Valutare la densità di portatori.

3) Un nastro di lunghezza 10 $cm$, spessore 0.1 $cm$ e larghezza 5 $mm$ è perpendicolare ad un campo magnetico da 1 $T$. Quando il nastro è percorso dalla corrente di 1 $mA$ la tensione ai capi e la tensione Hall risultano 10 $V$ e 1 $V$. Ammesso che il nastro abbia mobilità unipolare, calcolare: a) la velocità dei portatori, b) la densità di portatori.