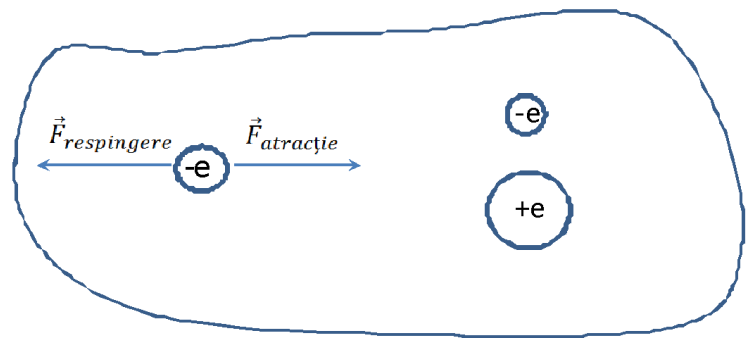


## Conductori metalici aflați în stare de echilibru electrostatic

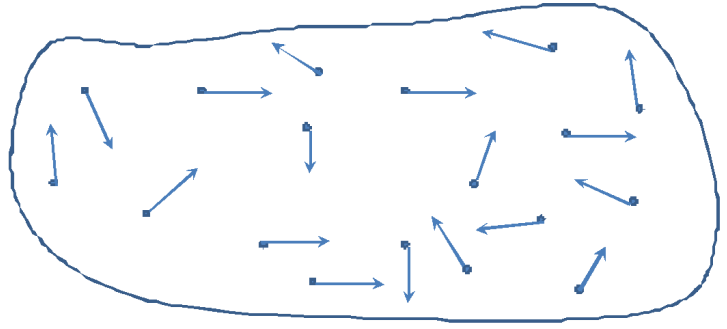
Toate substanțele aflate în stare solidă, lichidă și gazoasă sunt formate din atomi care au nuclee și învelișuri electronice. Materialele izolatoare au învelișurile electronice suficient de strânse (legate) de nuclee astfel încât atunci când le plasăm în câmpuri electrice uzuale, de laborator, aceste învelișuri rămân încă legate de nuclee și electronii nu se pot deplasa liber. Metalele au o structură electronică ce permite existența electronilor liberi și acest fapt determină proprietăți electrice foarte diferite față de cele ale izolatoarelor. În cadrul unui model simplu putem considera că dacă un atom din metal are în total  $Z$  electroni atunci  $Z - 1$  electroni rămân legați de nucleu și unul este liber să se deplaseze în interiorul metalului. Forța netă medie care acționează asupra acestor electroni liberi este nulă. Pentru a înțelege acest lucru am ilustrat în figura de mai jos un atom și un electron liber din apropiere. În partea dreaptă a figurii este reprezentat un atom care este format din nucleu și cei  $Z - 1$  electroni strâns legați de nucleu (cercul mai mare) și un electron de pe stratul marginal (cercul mai mic). În stânga figurii este reprezentat un electron liber din apropierea acestui atom. Nucleul are sarcina pozitivă  $Ze$  iar electronii strâns legați de nucleu au sarcina negativă  $-(Z - 1)e$  astfel încât cercul mai mare reprezintă un ion pozitiv cu sarcina  $+e$ . Putem vedea atomul ca fiind format dintr-un ion pozitiv cu sarcina  $+e$  și un electron cu sarcina  $-e$ . Electronul liber (în stânga figurii) din apropierea acestui atom interacționează electric cu componentele atomului astfel: este atras de ionul pozitiv spre dreapta cu forța  $\vec{F}_{atrăcție}$  și este respins spre



stânga de electronul de pe stratul marginal cu forța  $\vec{F}_{respingere}$ . Cele două forțe sunt egale în modul (având în vedere că sarcinile ionului și electronului marginal sunt egale în modul) și opuse ca sens astfel încât forța netă care acționează asupra electronului liber este zero:  $\vec{F}_{net} = \vec{F}_{atrăcție} + \vec{F}_{respingere} = 0$ . Dacă ne exprimăm în termeni de câmp electric putem spune că valoarea medie a câmpului electric ce acționează asupra electronilor liberi într-un metal este zero. Trebuie să remarcăm că nu același lucru s-ar întâmpla dacă am avea într-o incintă doar electroni. De exemplu, electronii din apropierea pereților incintei ar fi acționați de restul electronilor cu o forță diferită de zero. Situația pe care am descris-o mai sus se referă la ceea ce se întâmplă în interiorul unui metal. Putem vedea metalul ca fiind format dintr-un ansamblu de ioni pozitivi (nodurile rețelei cristaline) printre care se mișcă electroni liberi care sunt acționați de o forță netă nulă cu excepția cazurilor în care se ciocnesc de nodurile rețelei cristaline sau când ajung la marginea metalului. Marginea metalului poate fi văzută ca un fel de perete pentru acești electroni în condiții normale iar ieșirea lor din metal presupune modificarea semnificativă a condițiilor în care se găsește metalul (de exemplu încălzirea sau

iradierea metalului peste o anumită limită care depinde de natura metalului sau aplicarea unui câmp electric suficient de intens).

Descrierea de mai sus ne amintește de modelul gazului ideal. Prin prisma fizicii moleculare noțiunea de gaz ideal semnifică un sistem format din foarte multe particule care au volum neglijabil față de volumul incintei în care se află, forța netă care acționează asupra lor este nulă în timpul mișcării, ciocnirea cu pereții este perfect elastică supunându-se legilor mecanicii clasice și, fiind foarte multe, mișcarea lor este haotică. Din acest punct de vedere electronii liberi dintr-un metal pot fi asimilați cu un gaz în sensul că ei se comportă similar moleculelor unui gaz ideal (gaz electronic sau *mare de electroni*). La echilibru termodinamic viteza medie a moleculelor gazului este nulă. Similar, viteza medie a mării de electroni liberi la echilibru termodinamic este nulă. În figura alăturată este reprezentată schematic mișcarea haotică a particulelor, săgețile reprezentând vectorii viteză ai particulelor. Dacă notăm cu  $N$



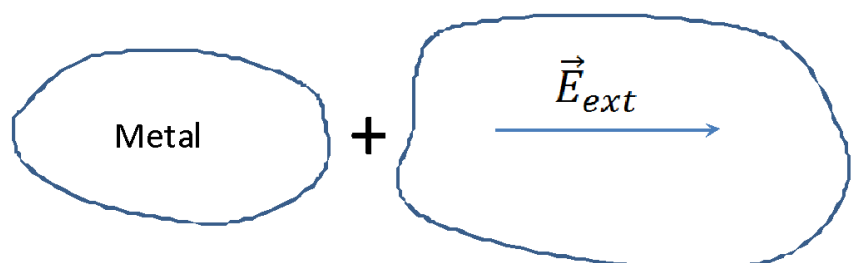
numărul total al particulelor libere și cu  $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \dots, \vec{V}_N$  vitezele acestora, atunci, datorită caracterului haotic al mișcării vectorul viteză medie a ansamblului de particule este zero la echilibru termodinamic:

$$\langle \vec{V} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \vec{V}_i = 0$$

Deși vectorul viteză medie este zero particulele se mișcă permanent cu viteze care au modulul de ordinul sutelor de metri pe secundă la temperatura camerei. Dacă ne referim la electronii liberi din metale aceștia sunt și în *echilibru electrostatic* adică forța netă electrică ce acționează asupra mării de electroni este zero. Asta înseamnă că valoarea medie a intensității câmpului electric în interiorul metalului aflat la echilibru electrostatic este zero. Începem astfel să discutăm despre proprietățile metalelor aflate în stare de echilibru electrostatic și le vom sistematiza astfel:

1. La echilibru electrostatic câmpul electric mediu din interiorul unui metal este zero indiferent de forma conductorului.

Pentru cazul când metalul nu este plasat într-un câmp electric extern am văzut mai sus că viteza medie a mării de electroni este zero și metalul este în stare de echilibru electrostatic. Ce se întâmplă când punem un metal într-o zonă în care există deja un câmp cu intensitatea  $\vec{E}_{ext}$ ? În figura de mai jos am reprezentat metalul înainte și după



plasarea sa într-o zonă din spațiu în care există un câmp electric cu intensitatea  $\vec{E}_{ext}$ . În prezența câmpului extern orientat spre dreapta marea de electroni se deplasează spre stânga. Toți electronii sunt acționați de forța  $\vec{F} = -e\vec{E}_{ext}$  spre stânga dar se pot deplasa numai cei liberi. Ceilalți sunt legați de nuclee și rămân în vecinătatea acestora. Nucleele atomilor au sarcină pozitivă și sunt acționate spre dreapta dar deplasarea lor este nesemnificativă având în vedere că masa unui nucleu este de mii de ori mai mare decât masa unui electron. În figură este ilustrată deplasarea mării de electroni spre stânga prin semnele minus în stânga și semnele plus în dreapta. Are loc astfel o rearanjare a electronilor liberi sub influența câmpului extern. Partea stângă a metalului capătă o sarcină netă negativă iar partea dreaptă o sarcină netă pozitivă (ca urmare a plecării electronilor spre stânga). Această nouă distribuție de sarcină dă naștere la un câmp electric  $\vec{E}_{distribuție}$  orientat spre stânga care este cu atât mai intens cu cât separarea de sarcină este mai accentuată. Estimările arată că pentru a se obține un câmp  $\vec{E}_{distribuție}$  egal în modul cu câmpul extern  $\vec{E}_{ext}$  Când cele două câmpuri devin egale în modul separarea de sarcină încetează, câmpul total mediu din interiorul metalului devine nul,  $\vec{E} = \vec{E}_{distribuție} + \vec{E}_{ext} = 0$ , și în metal se instalează starea de echilibru electrostatic. Observăm că metalul ajunge în stare de echilibru electrostatic și când este plasat și când nu este plasat într-un câmp electric extern. Electronii liberi permit rearanjarea sarcinii electrice în așa fel încât după redistribuire câmpul total mediu din metal să devină nul și să se obțină starea de echilibru electrostatic. Forma metalului este irelevantă din acest punct de vedere. Ținând cont de faptul că în interiorul materialelor izolatoare sunt foarte puțini purtători de sarcină mobili este de așteptat ca plasarea acestor materiale în câmp electric extern să nu ducă la obținerea unui câmp total mediu nul în interiorul lor, așa cum se întâmplă la metale.