```
Mécanismes de la conduction électrique dans les
solides
mardi 2 avril 2024
                            11:34
Niveau: Licence
                                            Biblio: Physique des solides, Ash croft / Electromagnitisme, Perez / Intro. à la 4 des motériaux..., Teyssier/
                                         · Statistique de Ferni-Dirac Physique

Niveau de Ferni

Matistique

Missau de Ferni
Prérequis: Electrostatique
               · Cristallegraphie
              · Electrons de valence
                                                                                              Notes : On est faiblement hors équilibre
               . Thermodynamique
                                                                                              (réponse linéaire) mais on utilise quand
                . Electronique.
                                                                                              même les résultats obtenu à l'équilibre.
 Problèmatique: Pourquoi certains matériaux conduisent-it le
                      courant électrique et d'autres son?
 I/ <u>Le modèle de Drode</u> (~1900)
 1) Le modèle
              Deux types de jarticules : ⊕ et ⊙
           Les ions (chargés (D) restent immobiles aux nocudes du réseau
          (attivitable non). annosse to expose nue humans de sandie snor son son son est est est est est est est est est
                      Le résistance de natérion est liè aux collisions
                       EME-ENOTOPLE
                    esons se artre enjeire enfeit de manière red-iligne uniforme entre 2 chass
                     egnotnoteni troc esono ess *
                    * \mathcal{F}(\text{choc pd+ dt}) = \frac{dt}{C}, T: \text{temps de subxation} / \text{de libre parcours moyen}

(\sim -10^{-4} \text{s cuivre}) \triangle à vérifier

* Equilibre thermo atteint via les collisions:
                                   La Vitesse après chose vitesse themique ou sien de la collision
                                  Le Direction abéatoire
    2) Conductivité électrique
         On considère la vitesse moyenne v, du type de porteur d
    * Si on soumet le natériou à un champ électrique
                    E'constant: my dui = q E'
     * Force de frottement: m2 det = 9 E'-kvi, 200
                         \frac{d\vec{x}}{dk} = \frac{q_k \vec{E}}{m_k} - \frac{k\vec{v_k}}{m_k} = D \left[\frac{\alpha}{m_k}\right] = T^{-1} donc \text{ on pose } \vec{v_k} = \frac{k}{m_k}
                Ce qui done: \frac{d\vec{v}_{x}}{dt} + \frac{\vec{v}_{x}}{\tau_{x}} = \frac{q_{x}\vec{E}}{m_{x}} = \int_{\chi(F)}^{\chi(F)} \frac{q_{x}\vec{E}}{m_{x}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{x}}}\right)
                                                                           avec p. la mobilité, caractérisent
                                                                            le porteur d.
               Dantre part, J'= ne q v', max en régine permanent. (ne donsité de 2)
               Donc \qquad \int_{2}^{3} = \frac{n_{x}q_{x}^{2}}{M_{x}} T_{x} E' = \chi E'
                                                                  Avec & la conductivité électrique.
              Loi d'Ohn locale: J^{\circ} = \sum_{\lambda} \int_{\lambda} q_{\lambda} \overline{q_{\lambda}} = \sum_{\lambda} \int_{\lambda} q_{\lambda}^{2} \overline{q_{\lambda}} = \sum_{\lambda} \chi \overline{e}^{2} = \chi \overline{e}^{2}
            Stide: & Conducteur/1/2-cond./Isolant
                                                                            R = L a section et la longueur du fil.
           Formulation intégrale:
              T = \iint_{S} J^{2} dS of M = \int_{S} \tilde{\epsilon} \cdot d\tilde{u}
  alébon set sationis (E
         Dépendance de R en fonction de la température pour un goz d'électrons:
 Théorème Equipartition NRG: \mathcal{U} = \frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{3}{2} k_B T
 donc v_e = \left(\frac{3k_BT}{N_o}\right)^{V_2} ce qui donne \delta \sim 1_e e \times \sqrt{\frac{3k_BT}{N_o}} et v_e = \frac{n^{(mol)}k_B}{V} = \frac{P}{RT} \rightarrow \delta \sim \frac{1}{\sqrt{T}}
     (v_N18x104m/s) et Rd/g donc Rd/T
                                                                                                Natériel: 2 nultinetres, 1 alinentation continue, 6 fils, germanium, ordi.
       Expérience: desure R germanieum en fonction de T
                     (préparation, plusieurs T et en T devant le jury, montrer que Rat)
                                                                                                                                        Penser à ajouter Tomb aux nesures de T.
                          Side: Schema du montage. + courbes où R's over T
                                                                                                                                                                  Variation de la conduction d'un 1/2-conductour en forction de T:
  Pb: Des effets quantiques sont à prondre en compte.
                                                                                                                                                                      - Conversion: 40 pV/K
Side: Récap des hypothèses et mot en évidence celle(s) relaxée(s) pour la suite (Asheroft, P.68-69)
                                                                                                                                                                     - Trace enR = f(4)
                                                                                                                                                                     -\Delta \sigma = \sigma \exp\left(-\frac{\epsilon_0}{2k_B^T}\right) - \Delta \ln(\sigma) = \ln(\sigma) - \frac{\epsilon_0}{2k_B^T}
II / Structure de bande (2D)
  1) Electrons presque libres
                                                                     Trécrème de Bloch: les états propres de Îl sont choisis tols que:
                                                                                                                                                                                                Donc Eg = (0,65 ± 0,01) eV
                                                                                           ΨΨ, ∃Ē, Ψ(Ē,+Ē,) = σ; μες Α(Ŀ,) σησε Λ(Ŀ,+ ω,) = Λ(Ŀ,)
                                                                                                                                                                       1 T = VIMV) x 103 + Tamb (K)
 Le réseau des ions crée un potentie/ périodique Viri) de période a.

On suppose V de la forme V.cos(exis)
         L'haniltonien s'écrit: \hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \hat{V}(\bar{r}^2) \left(\frac{\hat{p}^2}{2m} - \frac{\hat{r}^2}{2m}\right)
                                                                                                                                                                      R = 5\frac{1}{S}
S = 0 \times langua = 10^{-3}, 10^{-2} = 10^{-5}
La fonction d'onde solution de \hat{H}_{k}^{y}(a) = E_{k}^{y}(x) se résécrit comme: \hat{Y}_{k}(x) = \hat{Y}_{k}^{0}(x) \times v(x) ouver v(x+a) = v(x) of \hat{Y}_{k}^{0} = e^{ikx} associée à E_{k} = \frac{k^{2}k^{2}}{2}
                          ( avec E = E, +E, )
                                                              d'après le théorème de Bloch.
 2) Apporition de bandes
     * Développement de vise) en série de fourior.
     * Hypothèse V, «1
     L_{b} \in = \frac{mV_{i}^{2}}{2\hbar^{2}} \times \frac{1}{(k^{2}-(2\overline{k})^{2})^{2}} + o(V_{i})^{2}
                                                                                                                            Voir Feynmann pour ne pas
avoir besoin du théorème de Bloch.
Arothème: Il y a divergence en k = II: il y a résonance de l'interaction ions/électrons pour \lambda = \frac{2I}{L} = 2a
       Ride: Apparition du gop, formules de E et Egop.
        Par périodicité, ket k+rit équivalents (nEZ)
        Pide: Bardes at 1ere zone de Brillovia
 3) Pendement de bande
       On pout quartifier les k via les conditions oux limites périodiques
                        \Psi(x) = \Psi(x + na) = 1
                                           <=> kna =2Tm, mEZ
                                            \langle - \rangle k = \rho \times \frac{2\pi}{2}, \rho \in \mathbb{Z}
            x & the shad ensinery at each choice to ende as
           Done il pout y avoir 2n électrons
          dons une bande
                                            PFD(E) à T=OK SL T ±OK.
                   Statistique de Ferni - Diroc
         Conducteur
                                                      Isolant
                                                         orbanietto roas eignenie b gog es
                                                         god the endil rueinagus marin me
    Un abatron pour faciliement pouples
    signama stuad @ sb (sondial) exostà seb
                                                          grand.
                                                           SAUF si kT est suffisante pour
                                                           franchir ce gap. Dans ce cos: 1/2-conducteur —o Meseire de Eg du
                                                              Cf Teyssier p. 139 -...)
                                                                                                                         germanium
      Slide: p. 144, Teyssier + EGap nél-allisodant/ 1/2-cond.
    Conclusion: Effet Hall
                                   o Influence du réseau : phonons
                 · Dopage des 1/2 - conducteurs (impuretés)
     Slide backup: Développement menant à E,
                                                            · Effet Hall st /2 - cond. ( Kittel, ρ 150)
                                                             o Lien Conductivité H. vs élec (Kittel, p153)
                         . Bandes à 3D.
                        o Conductivité en régime alternatif. (Ashcroft, p18)
                        o & en 1/7:
                                                      Il y'a deux contributions à l'expression de la résistivité (\rho = 1/\sigma) en fonction de la température :

    les impuretés, qui donnent un terme constant

    les phonons/vibrations du cristal, qui donnent un terme proportionnel à T

                               p.624
                                                      On a donc 1/\sigma = a * T + b.
```

Si on néglige les impuretés, alors σ est bien proportionnel à 1/T.

1/tau= somme_i 1/tau_i où 1/tau_i est le temps de collision du processus i.

L'addition de la contribution des impuretés et de la contribution des phonons à la résistivité

s'appelle la règle de Mathiessen. Elle exprime de manière générale que le temps de collision s'écrit