

MP 06 – Transitions de phase

31 mai 2021

Clément Gidel & Pascal Wang

Niveau :

Commentaires du jury

Bibliographie

✦ *Le nom du livre, l'auteur*¹

→ Expliciter si besoin l'intérêt du livre dans la leçon et pour quelles parties il est utile.

Prérequis

➤ prérequis

Expériences

☞ Biréfringence du quartz

Table des matières

1	Transitions du premier ordre	2
1.1	Recalescence du fer	2
1.2	Chaleur latente de vaporisation du diazote par la méthode électrique	3
2	Transitions du deuxième ordre	4
2.1	Transition d'un supraconducteur	4
2.2	Transition ferromagnétique-paramagnétique	5
2.3	Expériences quantitatives	8
2.3.1	Transition liquide/gaz de SF ₆	8
2.3.2	Mesure de la température de transition d'un supraconducteur.	9
2.4	Expériences courtes/qualitatives	9

Jury

Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés. Enfin, il faut rappeler aux candidats que le diazote n'est pas le seul liquide dont il est possible de mesurer la chaleur latente de vaporisation et que plonger un corps solide dans un liquide conduit à l'existence d'une force appelée poussée d'Archimède.

Ce montage doit être quantitatif. Il faut pour cela avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés. Dans les expériences de calorimétrie, il est important de tracer l'évolution temporelle de la quantité mesurée (température, masse) avant et après le phénomène étudié afin d'estimer les fuites thermiques.

Plan : Clément

Je reprendrais volontiers le plan de Rémi : 2 manip qualitatives (bouillon de Franklin **Attention, tricky à vraiment interpréter, c'est bien de revoir ça**, transition ferro para du clou en fer) et 2 quantitatives (SF6 : mesure de la chaleur latente de vaporisation et transition du supraconducteur : mesure précise avec code Python (**Voir site de Lucas Gey pour ça**))

Introduction : Plan de Pascal

1 Transitions du premier ordre

1.1 Recalescence du fer

Ici nous illustrons une transition de phase entre deux variétés allotropiques différentes du fer.

Transition fer α fer γ

Matériel : manip avec le fil de fer P0.63+ générateur à courant continu P53.10 jusqu'à 5A + masse (50g)

Manip : Fil de fer chauffé par effet joule (jusqu'à 5A environ) progressivement, puis on coupe brusquement lorsque le fil a une couleur orange sur lequel est accroché une masse. On visualise la transition par l'élévation de la masse et l'abaissement de la masse lorsque le courant est coupé. Il faudrait projeter (flexcam). (Quaranta T2 p. 451)

Remarques :

- Fe_α est stable à température ambiante. Il a une structure cristalline cubique centrée.
- Fe_γ est stable au dessus de $906^\circ C$. Il a une structure cubique faces centrées. Il est donc plus dense que le fer α .
- La phase α est encore stable au dessus de $1390^\circ C$, mais on ne l'atteint pas sur l'expérience.
- Lors de l'expérience, on observe plusieurs phases : (i) le fil chauffe donc il se dilate et descend. Le fer change de variété allotropique mais on ne le voit pas car on chauffe trop vite. (ii) On coupe le courant, le fil se refroidit et donc se rétracte. Lors de la transition γ vers α , le fil devient moins dense, et donc le fil se dilate. On voit la masse redescendre. (iii) La masse remonte à cause de refroidissement.
- Le paramètre d'ordre ici est la variation de volume massique.

On va chercher à caractériser plus précisément un changement d'état en mesurant la chaleur latente liée à la transition de phase (mesure possible si la transition est du premier ordre car il faut que la transition soit du premier ordre pour pouvoir définir une chaleur latente).



1.2 Chaleur latente de vaporisation du diazote par la méthode électrique

[quaranta II, calorimétrie, protocole][Duffait CAPES, principe, p279]

Matériel

- Azote liquide
- Vase Dewar P103.48 (ne pas utiliser les vases Dewar P103.47 qui ne sont pas conçus pour recevoir de l'azote liquide)
- Balance P97.20
- Résistance chauffante P103 (ou plus gros s'il faut plus de puissance)
- Alimentation continue de puissance P53.6
- Chronomètre

Présentation On apporte une certaine quantité d'énergie au diazote liquide on mesure la quantité de diazote vaporisée pour mesurer la chaleur latente de vaporisation. On apporte de l'énergie avec une résistance chauffante.

Hypothèses

- Température constante → pas besoin de déterminer la capacité en eau du calorimètre.
- La transmission de puissance se fait avec une perte indépendante de la puissance fournie → on peut alors les estimer avec des mesures multiples.
- Pression constante car la pression hydrostatique peu $< 1\%$.
- Néglige les pertes par évaporation.

Démarche En faisant deux mesures pour deux courants différents, la résolution d'un système de deux équations donne les deux inconnues : la chaleur latente et les pertes thermiques.

Protocole Remplir un vase Dewar P103.48 d'azote liquide en utilisant les gants adaptés. Placer le vase sur une balance P97.20 et y plonger une résistance chauffante P103 à face jaune, maintenue avec une potence et une pince. Brancher une alimentation continue de puissance P53.6 à la résistance sur les bornes correspondant à 6Ω . Brancher aussi un ampèremètre et un voltmètre afin de mesurer I et U, l'intensité passant dans la résistance chauffante et la tension à ses bornes. Prendre un chronomètre. Démarrer alors l'alimentation continue, appliquer environ 1 à 2 A (il ne faut pas dépasser 12 V : augmenter progressivement le courant appliqué et suivre l'évolution de U et I). La résistance va alors chauffer par effet Joule, et cette chaleur va vaporiser une quantité de diazote. On observe effectivement que la masse affichée par la balance diminue. Prendre une masse de référence et démarrer le chronomètre. Attendre l'évaporation de quelques grammes de diazote. Relever la masse évaporée m et le temps nécessaire t pour cette évaporation. Couper l'alimentation. Recommencer avec une valeur d'intensité différente, mais avec la même masse évaporée.

Traitement La puissance dissipée par effet Joule est $UI = RI^2$ mais la résistance dépendant de la température, on préfère mesurer U et I afin de s'affranchir de sa valeur. En ordre de grandeur, il faut 200 J pour évaporer un gramme de diazote soit une puissance de 10 W pendant 20 s, sans compter les pertes. Pour une masse m évaporée en un temps t_1 avec une puissance $U_1 I_1$, et en t_2 avec $U_2 I_2$, le bilan thermique s'écrit :

$$U_1 I_1 t_1 = mL + pt_1 \quad U_2 I_2 t_2 = mL + pt_2 \quad (1)$$

où L est la chaleur latente massique de vaporisation du diazote et p sont les différentes pertes thermiques (où l'on fait l'hypothèse que la puissance associée est la même lors des deux mesures). Les équations traduisent donc que l'énergie fournie par la résistance chauffante est soit utilisée pour évaporer le diazote, soit perdue. Les deux inconnues sont L et p . On trouve :

$$L = \frac{U_2 I_2 - U_1 I_1 t_1 t_2}{m(t_1 - t_2)} \quad (2)$$

Incertitudes

Valeur tabulée $L_{tab} = 198.5 \text{ kJ/kg}$.

Ecart à l'idéalité

- La résistance chauffante ne plonge pas toute entière dans le récipient.
- La pesée du calorimètre contenant l'azote liquide prend en compte la poussée d'Archimède exercée sur la résistance chauffante qui varie évidemment avec le niveau du liquide.

- Même lorsqu'on ne chauffe pas, il y a de l'évaporation.

Commentaires

- On peut faire une droite si on a le temps.
- On peut montrer une évolution temporelle si on a le temps.

↓ On a vu que lors des transitions de phase un ou des paramètres du système étaient modifiés mais les transitions de phase peuvent aussi permettre de découvrir une toute nouvelle physique et c'est l'exemple de la supraconductivité.

2 Transitions du deuxième ordre

La transition métal-supra a plusieurs effet notables. Le premier que l'on va illustrer ici est l'effet Meissner.

2.1 Transition d'un supraconducteur

Lévitation d'un aimant au dessus du supraconducteur $YBa_2Cu_3O_7$ pour la mise en évidence de l'effet Meissner.

Matériel : supraconducteur, azote liquide (+gants), bloc de polystyrène)

Manip : On place le supraconducteur dans un récipient en polystyrène et on pose l'aimant dessus. On verse de l'azote liquide pour que le supraconducteur trempe dedans et l'aimant se met à léviter au dessus du supraconducteur.

Commentaire : L'aimant permanent crée un champ magnétique et comme le supraconducteur est un diamagnétique parfait un courant induit va apparaître et qui va tendre à s'opposer au champ magnétique pour annuler le champ magnétique à l'intérieur du supraconducteur. Ce courant induit crée dans le matériau un moment magnétique de sens opposé au champ de l'aimant. Ainsi les moments magnétiques du supra et de l'aimant sont opposés et crée ainsi une force de répulsion $F = \mathbf{grad}(M \cdot B_{matériau})$ si cette force est supérieur au poids de l'aimant alors celui-ci lévite. (Bonus : $YBa_2Cu_3O_7$ est un supraconducteur de type II. Lors de la transition, le champ peut pénétrer à travers le supraconducteur en phase normale (vortex), permettant alors la stabilité de la lévitation du supraconducteur.

Mesure de la résistance d'un supraconducteur

Matériel : module monté exprès (supra P102.36 + thermocouple T P102.16), multimètre de précision (ohmmètre 4 fils)

Manip : On plonge le supraconducteur dans l'azote liquide jusqu'à thermalisation. On le sort et on mesure la température et la résistance du supraconducteur pendant l'échauffement. Soit (i) on prend des mesures à la main, mais la résistance varie rapidement, une option est de répéter la manip plusieurs fois et de faire une moyenne (on peut le faire avec un ohmmètre 4 fils sans générateur) (ii) *Acquisition automatique (avec un nanovoltmètre + générateur)* : Générateur de courant : Laboratory DC Power Supply (P53.15) + nanovoltmètre Keithley 2182A nanovoltmeter (P52.2) + amplificateur 4005 High speed power amplifier (P47.6) Amplifie $\times 100$ la résistance du supra. Sortie vers carte acquisition.

Bonus : montage 4 fils car il n'y a pas de courant dans la maille du voltmètre, ie on ne mesure pas les résistances parasites dans les mailles et les soudures)

Remarques :

- La précision des thermocouple de type T est de 2% pour la gamme de -100°C jusqu'à 50°C . L'incertitude provient principalement de la mesure de la température plutôt que celle de la résistance.
- $T_{c,th} = -188^\circ\text{C}$
- On observe une annulation de la résistance en dessous de 93 K (-180°C) qui est la température critique de changement d'état conducteur-supraconducteur. Il s'agit d'une transition de phase du second ordre où le paramètre d'ordre est une fonction complexe $\psi(r)$ tel que $n_s(r) = |\psi(r)|^2$ est proportionnel à la densité d'électrons supraconducteur (c'est à dire les électrons constituant des paires de Cooper).

↓ Une autre transition de phase modifiant les caractéristiques intrinsèques du matériau concerne la transition ferromagnétisme au paramagnétisme du fer.

2.2 Transition ferromagnétique-paramagnétique

Transition ferromagnétisme-paramagnétisme du fer

Matériel : plaque isolante + aimant + clou en fer + source de chauffage + thermocouple

Manip : On accroche un aimant derrière une plaque isolante thermiquement. On accroche le morceau de fer muni d'un thermocouple sur une potence et on fait en sorte que le morceau de fer soit décollé de la plaque en l'absence de l'aimant. On chauffe le morceau de fer de façon homogène à l'aide d'un chalumeau et on suit la température avec le thermocouple. La seconde partie du thermocouple doit être plongé dans un bain d'eau glacé à 0°C pour avoir la bonne référence. Au bout d'un moment le morceau de fer se désaimante et cela se produit plus ou moins à la température de Curie du fer. Le fer devient paramagnétique et donc perd ses propriétés ferromagnétiques.

Remarques :

- Cette transition est une transition du second ordre ou le paramètre d'ordre est l'aimantation du matériau
- $T_{tab} = 770^\circ C$

Conclusion

Conclusion

Ouverture :

Compléments/Questions

Questions :

- Est ce que vous pourriez commencer par détailler comment vous organiseriez les mesures avec le SF6 ? (gestion du temps, ordre des températures) Ordre de température croissant, bien attendre entre les manips. Admettons qu'on dispose d'un temps "infini", est ce que ça serait concevables/une bonne idée de faire par exemple $T=23^\circ$, puis $T=27^\circ$ puis $T=25^\circ$ puis $T=46^\circ$ (soit d'avoir des températures croissantes et décroissantes). En pratique, il y a une hystérésis montée/descente au niveau du ménisque sf6/mercure dans la cellule de mesure.
- Au niveau de la recalescence du fer, est ce qu'on s'attend à une variation très brutale de la position de la masse lorsqu'il y a transition de phase ? Pourquoi ? Transition du premier ordre, il y a une discontinuité de la densité. Mais la différence de densité est assez faible, donc l'amplitude du saut est faible.
- Mais est ce que tout le fil de fer va passer d'une maille à l'autre globalement lorsqu'on passe la température, où est ce que cela se fait localement ? Si le fil n'a pas une température homogène (ce qui a l'air d'être le cas puisque on voit des zones plus rouges lors du chauffage). La transition ne se fait pas instantanément dans tout le fil.
- Dit autrement, si je prend un bain d'eau, que j'arrive à idéalement faire passer en dessous de 0° globalement, est ce que tout va geler globalement, où est ce qu'il va y avoir un front ? Il peut y avoir un retard à la transition, on peut prendre le cas de la surfusion de l'étain, l'ébullition de l'eau (il faut une certaine barrière énergétique), la surfusion de l'eau (départ de transition à partir d'un point de nucléation).
- Et est ce que c'est la même chose pour transition du premier ordre et transition du second ordre ? La métastabilité/ nucléation est possible uniquement avec les transitions du premier ordre. (Barrière énergétique liée à la discontinuité de l'énergie).
- Pour la vaporisation du diazote. Est ce que vous pouvez expliquer les sources d'incertitudes ? (je vois un +/-). Balance, chronomètre, puissance (appareils de mesure).

- Si je fais une lecture instantanée de la masse indiquée par la balance, à quoi correspond t'elle ? Il faut prendre en compte les temps de réponse des capteurs. Il faut le comparer à l'incertitude en temps que l'on mesure à la main avec le chronomètre (et si il est plus grand, augmenter l'incertitude sur le temps).
- Admettons que je lise la masse sans résistance dans le diazote. Et que je lise la masse quand la résistance est plongée, est ce qu'elle est différente, pourquoi ? (en négligeant les effets d'évaporation) La masse est différente à cause des effets de la poussée d'archimède lorsque la résistance est dans le fluide. A l'ordre 0, ça fait un décalage systématique. Si on utilise $m = M(t) - M(t + t_i)$ ça ne devrait pas influencer la mesure. Mais c'est bien de garder ça en tête????
- Au niveau de la visualisation de la lévitation, est ce que vous pourriez expliquer le dispositif pratique pour la manipulation. (ps changer le tableau et mettre le schéma de la manip puis après explication). Projeter la manip.
- Au niveau de la mesure de la résistance du supra conducteur, vous avez dit que vous vous assureriez que le matériaux est en phase supra. Comment le faire en pratique ? On peut faire la mesure en refroidissant et on vérifie si la résistance a bien chuter, puis après on fait la mesure en sens inverse.
- Vous avez un "fil" qui va vers le supra et un autre vers de l'eau à 0° pour la mesure de la température, cela correspond à quel type de dispositif de mesure ? Thermocouple : deux points de soudures plongés dans des températures différentes ce qui créer une différence de potentiel que l'on mesure au voltmètre. (calibration préalable, qu'on prend sur la notice?).
- Souvent, on voit utiliser des thermocouples avec une seule sonde, où est l'autre ?
- Au niveau du schéma R(T), vous avez une référence qui le montre ? Est ce que c'est une courbe mesurée ? schématisée ? théorique ? (théoriquement pente verticale)
- Par exemple pour la transition ferro para, est ce que vous connaissez un modèle qui donne M(T), et quelle est sa forme ? M nul au dessus de T_c et en racine en dessous.
- Pour le dispositif pour la transition ferro para, est ce que vous pourriez détailler un peu plus, en particulier, comment est ce que vous feriez tenir le thermocouple sur le clou.
- Et est ce que les thermocouples peuvent aller mesure des températures jusqu'à 800 C. Le type K monte jusqu'à 1100 C.

Commentaires :

- Au niveau des choix d'organisation, est ce que c'est mieux de commencer la la recalescence du fer ? les transitions entre différentes phases solide, c'est peut être un peu plus complexe que les transitions liquides/gaz solide liquide etc .
- Lorsque la transition a lieu en refroidissant, on parle de decadescence et non recalescence.
- Ce qui est bien c'est de pouvoir montrer une mesure d'enthalpie de changement d'état et un "plateau" dans un diagramme de clapeyron. Le SF6 permet de faire les deux mais c'est une manip fragile. Je pense qu'on peut montrer un "plateau" dans la transition liquide solide de l'étain, de voir que la transition se fait à température constante. Mais on ne fait pas vraiment un diagramme de clapeyron. Au niveau des manips quantitatives, il y a aussi les manips de point triple ou de point critique. Et on peut commenter l'intérêt des points triples pour la métrologie, parce qu'ils sont à une température, pression et volume fixé.

Introduction possible : Les transitions de phases sont couramment observables dans la vie quotidienne. De la neige qui se transforme en eau, de l'eau qui bout... Pour caractériser une transition on peut utiliser deux points de vues différents qui se recouvrent souvent.

On a déjà fait l'expérience (ou entendu parler des personnes qui l'on fait) de placer une bouteille pleine d'eau au congélateur. La glace qui se forme occupe plus de place que le liquide et au meilleur des cas le bouchon a sauté et au pire des cas la bouteille a explosé. Dans cette expérience on a d'un côté le changement d'état du système et de l'autre la discontinuité d'une grandeur : le volume. Cependant cette définition n'est pas tout à fait exacte.

Dans le point de vue d'Ehrenfest, l'ordre de la transition est donné par la discontinuité de la n-ème dérivée de l'énergie libre par rapport aux variables thermodynamiques, alors que dans le point de vue de Landau il faut définir et choisir un paramètre d'ordre qui est une quantité qui caractérise l'état d'un système physique au cours d'une transition de phase. Pour un système du première ordre le paramètre d'ordre n'existe pas ou si celui-ci est discontinu à la transition, alors que la transition est du second ordre si le paramètre d'ordre est continu à la transition. La difficulté réside à trouver le paramètre d'ordre pertinent.

Dans l'expérience de la bouteille au congélateur, on voit que le paramètre discontinu est le volume $V = \frac{\partial F}{\partial P}$. Cependant le paramètre pertinent de la transition de phase c'est à dire le paramètre d'ordre est la masse volumique 1. Ici elle

est discontinue ainsi la transition de phase est du premier ordre. Ainsi la glace a une masse volumique plus faible que l'eau et c'est pourquoi les glaçons flottent dans un verre ainsi que les icebergs dans l'océan.

Durant ce montage on illustrera des transitions d'ordres différents associées à différents paramètres d'ordres, comme le volume, l'aimantation, ou même une fonction complexe dans le cas de la supraconductivité et les informations que l'on peut en tirer.

Expériences possibles et commentaires :

- **Transition du premier ordre :**

- Transition solide-solide (fascicule) : Transition fer α fer γ . Le paramètre d'ordre ici est la variation de volume massique.
- Transition liquide solide : Étude de la surfusion de l'étain. (mesure de la température de fusion+observation de la surfusion).
- Transition liquide-vapeur (fascicule, Quaranta 2 à calorimétrie et duffait Capes) : Détermination de l'enthalpie de vaporisation de l'azote par la méthode des mélanges. (avec un bloc de cuivre thermalisé @Teau du robinet (cf 2012/2013) ou avec une résistance chauffante). **Une mesure calorimétrique est obligatoire.** Ou chaleur latente de fusion de la glace (Quaranta p 49)
- Diagramme de Clapeyron (fascicule+ thibierge) : Vaporisation de l'héxafluorure de soufre (SF6). Remarque de 2013 : Cette manip sert essentiellement pour 2 choses : illustrer les isothermes d'Andrews et faire la transition premier au second ordre avec le fluide supercritique. Donc on peut dire que cette manip n'est pas très rentable mais elle est indispensable ? On peut remplacer ceci par la mesure de la chaleur latente de vaporisation de l'eau avec la courbe $p = f(T)$. La manip est décrite dans le fascicule (pas dans le notre :'), il s'agit de remplir un ballon d'eau de le chauffer puis de le boucher et le laisser refroidir en mesurant p et T régulièrement puis avec Clapeyron on remonte à L .

- **Transitions du second ordre**

- Opalescence critique du SF6 (fascicule)
- Mesure de la résistivité du $YBa_2Cu_3O_7$ entre 70 et 300 K (quaranta p.83). Voir 2013 pour les commentaires. *On observe une annulation de la résistance en dessous de 93 K ($-180^\circ C$) qui est la température critique de changement d'état conducteur-supraconducteur.*
- Lévitation d'un aimant au dessus du supraconducteur $YBa_2Cu_3O_7$ pour la mise en évidence de l'effet Meissner.
- Transition ferromagnétique-paramagnétique. On peut mettre un thermocouple pour suivre la transition et on remonte à la température de transition.
- **Métastabilité**
-

Passage

Plan

Questions

- Ca lévite stablement un type I ?
- Que signifie le Y dans YBaCuO ? Yttrium.
- Est-ce que le YBaCuO est un supraconducteur BCS ? Non en fait c'est un supraconducteur de type II qui n'est pas expliqué théoriquement à l'heure actuelle.
- Une application de la pente raide de la résistance ? Cela permet des mesures très précises sur des gammes très petites en thermométrie : thermomètres à transition supraconducteurs
- Un autre phénomène à basse température peu commun ? Superfluidité.
- Quel est l'ordre de la transition supra-normal ? Ordre 1 sauf à $T = T_c, B = 0$, c'est d'ordre 2.

- Quel est le paramètre d'ordre? C'est la densité de paires de Cooper, plus précisément son amplitude $\psi(\vec{r})$ complexe.
- Quels sont les paramètres pour la transition? Il y a une température ET le champ magnétique (voire 2 pour les types II) critiques. Le diagramme de phase serait (T,B).
- Quelles sont les sources possibles d'erreur dans la mesure de la chaleur latente du diazote? Décrire de fond en comble les isothermes de Van Der Waals. Représenter la zone supercritique dans un diagramme PV et sur les isothermes de Van Der Waals.
- Réexpliquer l'expérience sur le supraconducteur? Pourquoi un filtre passe bas? qu'est ce que le gain en entrée et le gain en sortie? L'expérience dure plusieurs minutes comment le 50Hz peut-il vous gêner? Sur SF6 comment avez-vous calculer la quantité de matière? comment avez-vous évalué l'incertitude sur la variation de volume? Pourquoi n'a-t'on pas des plateaux pour la pression? D'où pourraient provenir les impuretés dans le SF6?
- pourquoi la masse augmente lorsque l'on plonge la résistance chauffante dans l'azote
- ystérésis du montage SF6 si on prend les mesures dans un sens ou dans l'autre? Questions sur l'opalescence critique (elle était un peu bizarre, il n'y avait pas d'obscurité totale mais une ébullition permanente) Préciser qu'est-ce que j'entends par fluctuations? Préciser quel est le paramètre d'ordre sur la transition considérée?
- Quel est l'intérêt de la calorimétrie avec résistance chauffante par rapport à la calorimétrie par mélange? On peut prendre en compte les pertes. Pas besoin de la capacité calorifique du calorimètre car elle se fait à T constant.
- Quelles sont les limites lorsque l'on augmente la puissance dissipée par la résistance?
- Quel est l'intérêt de cette technique pour la mesure sur l'azote, par rapport à la mesure sur l'eau?
- SF6 : Incertitudes sur la lecture de la pression et du volume? Température critique? Hypothèses pour le modèle du gaz parfait? Phénomène physique à l'origine de la thermalisation? Comment estimer le temps de thermalisation? De quel paramètre dépend le coefficient de diffusion
- Acquisition de la courbe de refroidissement de l'étain liquide à solide avec Picolog. Détermination de la température de fusion de Sn. La température de fusion est-elle toujours la même? De quoi dépend elle? La profondeur de la surfusion est elle toujours la même ou varie-t-elle d'une expérience à une autre? Comment fonctionne le thermocouple que vous avez utilisé?
- Que signifie la lettre K sur le thermocouple?
- Pourquoi avoir utilisé une mesure 4 fils pour la résistance du supraconducteur?
- Pouvez vous expliquer le principe de la mesure 4 fils? Pour des mesures de faibles résistance, pour s'affranchir des résistances des fils et des soudures, on peut faire la mesure indépendante de u et de i par l'utilisation de quatre fils. En effet, le générateur impose un courant i à travers la résistance. Ce courant n'est pas perturbé par le voltmètre car celui-ci à une résistance très grande devant la résistance à mesurer. Celui-ci donne la tension aux bornes de R et le rapport u/i donne donc la valeur de la résistance recherchée. (schéma <https://www.technetea.com/PT100.html>)

Commentaires

Brouillon

2.3 Expériences quantitatives

2.3.1 Transition liquide/gaz de SF6

- Tracer des isothermes (on fait un point d'une isotherme en direct)
- Mesure de chaleur latente de vaporisation.
- Observation de l'opalescence critique (délicat).

2.3.2 Mesure de la température de transition d'un supraconducteur.

- On fait une mesure en live à l'oscillo pour montrer la différence entre montée et descente : on peut alors mettre en évidence le temps de réponse du thermocouple qui limite la mesure en descente : on arrive pas à suivre les variations rapides de tension (i.e résistance), la pente en mode XY (résistance en fonction de la température) est plus faible qu'elle ne devrait l'être : on varie trop rapidement en température! (un peu comme le slewrate de l'AO).
- On fait en préparation des mesures au voltmetre de précision car les tensions sont très petites! On peut faire la modélisation sur Python aussi
- Idée de manip : on fait le montage de mesure de température donné sur la fiche du supraconducteur (type K ça marche mieux apparemment, ça doit descendre plus bas en température). On doit prendre 2 thermocouples de types K et on utilise donc pas forcément celui qui a été intégré au supra. **Il faut prendre les thermocouples de la boîte de mesure de températures, les gros en P102.12**
- On fait un 4 fil à la main, on envoie 1 A dans le supra et on mesure la tension aux bornes du supra.
- Les tensions mesurées sont très petites, l'ordre du mV. Ainsi il faut se mettre sur ce calibre et mettre un pas de temps genre 50 ms.

2.4 Expériences courtes/qualitatives

Surfusion de l'étain

Illustration de l'existence d'états métastables. Mesure de la température de fusion.

Résistance d'un supraconducteur

Mesure de la température et résistance d'un supraconducteur pendant son réchauffement.

Bouillant de Franklin

Illustration de la non verticalité de la courbe de transition liquide/vapeur dans le diagramme P-T.

Transition ferromagnétique/paramagnétique du fer

Expérience du clou chauffé.

Recalescence du fer

Illustration du changement de variété allotropique.

Effet Meissner

Lévitacion d'un aimant au dessus de YBaCuO.

Passage : Remi

Questions

- A quoi correspondent les points A, B, C sur le diagramme (P, T) pour le bouillon de Franklin? En fait, on se balade sur la courbe de vaporisation? On fait chauffer pour se mettre sous un corps pur biphasé eau liquide vapeur. Quand on baisse la température, on reste sur la courbe de vaporisation. 🍷 **Quand on met le bouchon, on est à volume constant donc P T plus pertinent.**
- Expérience SF6, premier ou deuxième ordre?
- Signification de V_g , V_l ? Attention, première goutte, V_g première goutte de liquide et V_l dernière bulle.
- Incertitudes sur pression saturante et température?
- Mesure de n : Comment on a calculé l'incertitude?
- Pq important de faire en montée de température pr supra?
- Qu'est ce qui est discontinu dans l'expérience du clou?
- Def d'un paramètre d'ordre? QQch qui vaut 0 en HT, 1 sinon et non-invariant sur la symétrie brisée.
- Chariot surprise : Mise en évidence du filtrage en élec.

Remarques

- Pour la droite de regression, c'est bien de montrer le 0 des x, voir des y
- Montrer le code est inutile. Expliquer ce qu'il fait c'est bien
- Apparament, l'incertitude sur les droites avec Monte-Carlo (on fait 100 regressions et on regarde la moyenne). Monte Carlo s'applique dans plus de cas.
- On regarde une différence de température, du coup l'incertitude se rapporte à cette différence, elle est donc plus importante.
- SF6, la transition d'ordre 2 est seulement à T_c , P_c donc sur un point unique du diagramme.
- On peut aussi mentionner les transitions allotropiques en ccl + démixion, cf binaire, on peut jouer sur la concentration ou la température.
- Gestion du temps OK, contenu OK.
- 🚫 Si on met un champ magnétique, on est sur une transition d'ordre 1, en fait transition liquide vapeut et ferro para c'est la même chose.