

MP06 - Transitions de phase

Maria Ubero Gonzalez

Avril 2019

Introduction

1 Chaleur latente de fusion de l'eau

je ne l'ai pas faite. Chaleur latente de vaporisation de l'eau plus recommandée

Calcul de la masse équivalente en eau du calorimètre. Elle est définie comme étant la masse d'eau ayant le même comportement thermique qu l'ensemble des constituants internes du calorimètre. On y a recours car il est difficile de calculer la chaleur massique d'un tel système. De plus, elle peut être mesurée expérimentalement.

2 Chaleur latente de vaporisation de l'eau

Lancer l'ébullition de l'eau avant le début du montage, sinon ça risque d'être long.

On mesure la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C tabulée à 2257 kJ.kg^{-1} . On fournit de l'énergie grâce à une résistance chauffante ce qui permet de connaître la puissance fournie.

Protocole

- Calorimètre rempli d'eau posé sur une balance (sans couvercle).
- Résistance 550W dedans, reliée au générateur avec le wattmètre branché dessus.
- Introduire une sonde de platine à l'intérieur du calorimètre
- Chauffer l'eau à 100°C.
- Quand on est en ébullition total on peut commencer la mesure.
- Utiliser un sèche cheveux accroché sur un deuxième pied. Il souffle la vapeur qui sort pour éviter qu'elle se condense et retombe dans le calorimètre.

On choisit une puissance de l'ordre de 400W. On voit la résistance mesurée par la sonde varier à fur et à mesure que la température de l'eau augmente. Une fois que la résistance reste constante, on atteint un plateau qui traduit le moment où le changement de phase a lieu. C'est à ce moment là qu'on prend les valeurs de la variation de masse en eau en fonction du temps.

On fait un tableau et on représente cette variation. C'est une droite de coefficient directeur $\alpha = \Delta m / \Delta t$.

temps (s)	masse (g)
0	-51,64
15	-55,12
30	-58,12
45	-61,02
60	-63,94
75	-66,83
90	-69,54
105	-72,38
120	-75,05
135	-77,84
150	-80,51
165	-83,07
180	-85,91
195	-88,39
210	-91,04
225	-93,70
240	-96,27
255	-99,0
270	-101,50
285	-104,09
300	-106,61

$$Q = P\Delta t \simeq \Delta m L_v \quad (1)$$

$$L_v = \frac{P\Delta t}{\Delta m} = \frac{P}{\alpha} \quad (2)$$

A partir du coefficient directeur α on trouve la valeur de L_v . On compare par rapport à la valeur théorique tabulée à $2257 kJ/kg$.

Dans notre cas, $\alpha = 181 \pm 3 \text{ mg/s}$ et $P = 404,5 \text{ W}$

$$L_v = \frac{404,5 \cdot 10^{-3}}{181 \cdot 10^{-6}} = 2234,81 kJ/kg \quad (3)$$

Normalement il faut trouver une valeur plus grand pour L_v car il y a des pertes.

Je l'ai refait et j'ai trouvé :

$$a = (-173,5 \pm 2,2) mg.s^{-1} \quad (4)$$

Incertitudes

- Balance. 0,01g (notice balance)
- Puissance delivrée par le générateur 1% (notice) $= 404,5 \cdot 10^{-2} = 4W$
- Lecture sur la balance 1s et variation de la **masse pendant la lecture**. On introduit les valeurs des incertitudes dans Regressi pour calculer les incertitures liées à la pente.
- coefficient directeur $\alpha = 3mg$

$$\frac{u(L_v)}{L_v} = \sqrt{\left(\frac{u(P)}{P}\right)^2 + \left(\frac{u(\alpha)}{\alpha}\right)^2} \quad (5)$$

Avec nos données on obtient

$$\frac{u(L_v)}{L_v} = \sqrt{\left(\frac{4}{404,5}\right)^2 + \left(\frac{3}{181}\right)^2} = 0,02 = 2\% \quad (6)$$

On obtient alors $2234,81 \pm 43,13 \text{ kJ/kg}$. La valeur théorique est dans l'intervalle d'incertitude trouvé expérimentalement.

Ecart relatif

$$\frac{|L_{v_{mess}} - L_{v_{th}}|}{L_{v_{th}}} \quad (7)$$

Sources d'erreur

- Perte de chaleur par convection.
- Poussée d'Archimède exercée sur la résistance.

3 Transition solide-liquide

3.1 Refroidissement de l'étain

[je ne l'ai pas faite.](#)

On va enregistrer l'évolution de la température lors du refroidissement d'un échantillon d'étain préalablement fondu.

Température de fusion de l'étain : $231,9$ degrés.

4 Etude du point triple du diazote

Cette manip peut se faire sur l'eau ou sur le diazote. Les mesures sont cependant plus faciles avec le diazote.

Pour l'eau on a :

- $T_T = 0,01^\circ\text{C}$
- $P_T = 4,6\text{mmHg} = 6,1\text{mbar}$

La pression du point triple de l'eau n'est pas possible d'effectuer avec la pompe qu'on a au labo.

Pour le diazote on a :

- $T_T = -210^\circ$
- $P_T = 94\text{mmHg} = 125,32\text{mbar}$

Protocole

- Cloche à vide
- ohm mètre à l'intérieur de la cloche à vide
- diazote liquide
- résistance de platine (celle à 4 cables même si on ne les utilise pas)
- pompe

On branche la pompe et on observe la pression diminuer à l'intérieur de la cloche à vide. On observe le diazote et une fois qu'on verra des morceaux solides sur l'azote liquide, on notera la valeur de la résistance indiquée sur l'ohm mètre.

On ne trouve pas la correspondance entre températures inférieures à -200 degrés et la résistance obtenue. On trouve une résistance de **15,55 ohm**. Faire une courbe sur regression et extrapoler pour des basses températures avec les données trouvées sur internet.

resistance (ohm)	température ($^{\circ}C$)
10	-219,41
15	-207,96
20	-196,51
25	-184,87

Si l'on fait une regression linéaire avec ces 4 valeurs, on peut trouver la valeur de la température correspondante à 15,55 *ohm*

Incertitudes

- lecture de la pression
- lecture résistance.
- modèle trouvé sur internet. On modélise par une droite les points plus proches de $-200^{\circ}C$.
- pompe, on dirait que la pompe n'arrive pas à faire descendre la pression de 0,15 bar.

La température trouvée par extrapolation est de .

5 Température de Curie

Ne pas coller le thermocouple à l'aimant car sinon il peut perdre son aimantation.

Protocole

- On forme une sorte de pendule avec le thermocouple type K et on le maintient écarté de sa position d'équilibre en le "colant" à l'aimant.
- On vient chauffer le capuchon du thermocouple avec un bec bunsen.
- Lorsqu'il atteint la température de Curie du fer ($770^{\circ}C$), le capuchon perd sa propriété ferromagnétique et n'est donc plus soumis à l'attraction de l'aimant, le thermocouple se décroche.

Le thermocouple type K fonctionne avec un deuxième thermocouple qui agira en tant que référence. On le soumerge dans un bain de glace plus eau afin d'avoir une température de référence de 0°C. Il faut noter la tension fournie par le thermocouple au moment où le thermocouple se décroche.

On obtient une tension de l'ordre de **31775 mV**.

Sur le [Handbook](#) on trouve des tables reliant la tension obtenue et la température pour un thermocouple de type K.

Tension (mV)	température (°C)
30,798	740
31,213	750
31,628	760
32,041	770
32,453	780
32,865	790
33,275	800

On peut alors faire une regression linéaire à partir des données trouvés. On trouve :

$$a = (24,22 \pm 0,023)^\circ C.mV^{-1} \quad (8)$$

$$b = -6,0 \pm 0,7^\circ C \quad (9)$$

La température correspondante à la tension trouvée est calculée à partir de la pente et l'ordonnée à l'origine.

$$T = 24,22 \cdot 31,775 - 6,03 = 763,56^\circ C \quad (10)$$

Il faut porter une attention particulière au chauffage, il ne faut pas chauffer l'aimant mais que le capuchon du thermocouple !.

Incertitudes

- Lecture des mV au moment du décrochement 0,1mV
- Le chauffage du capuchon est assez inhomogène
- On ne sait pas trop à quel endroit le thermocouple mesure la température.

$$\frac{u(ax)}{ax} = \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(x)}{x}\right)^2} \quad (11)$$

$$\frac{u(ax)}{ax} = \sqrt{\left(\frac{0,023}{24,22}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{31,775}\right)^2} = 0,003 \quad (12)$$

$$u(ax) = 0,08 \quad (13)$$

On obtient alors :

Explication Le ferromagnétisme disparaît à une température supérieure à la température de Curie du matériau (770° C pour le fer) car l'augmentation de l'agitation thermique s'oppose à l'aimantation spontanée. Au-delà de la température de Curie le matériau est paramagnétique : il est encore attiré par l'aimant mais la valeur de la force qu'il subit est très inférieure à celle qui existait lorsque le matériau était ferromagnétique. La force attractive subie par le fil de fer chauffé ne suffit plus pour l'incliner. Le ferromagnétisme du fer réapparaît après refroidissement.

Conclusion

Questions que je me pose

Les transitions du premier ordre sont celles pour lesquelles la dérivée première par rapport à une des variables thermodynamiques de l'énergie libre est discontinue (présence d'un saut dans cette dérivée). Par exemple, les transitions solide/liquide/gaz sont de premier ordre : la dérivée de l'énergie libre par rapport à la pression est le volume, qui change de manière discontinue lors des transitions ; les transitions du deuxième ordre sont celles pour lesquelles la dérivée première par rapport à une des variables thermodynamiques de l'énergie libre est continue mais pas la dérivée seconde qui présente une discontinuité. La transition paramagnétique–ferromagnétique du fer (en absence de champ magnétique) en est un exemple type : la dérivée première de l'énergie libre par rapport au champ magnétique appliqué est l'aimantation, la dérivée seconde est la susceptibilité magnétique et celle-ci change de manière discontinue à la température dite de Curie (ou point de Curie).

La classification utilisée actuellement distingue également des transitions de premier et de second ordre, mais la définition est différente.

Les transitions du premier ordre sont celles qui impliquent une enthalpie de transition de phase (ou enthalpie de changement d'état, encore parfois appelée chaleur latente)⁴. Au cours de ces transitions, le système absorbe ou émet une quantité d'énergie fixe (et en général grande). Comme l'énergie ne peut pas être transférée instantanément entre le système et son environnement, les transitions de premier ordre ont lieu dans des phases étendues dans lesquelles toutes les parties ne subissent pas la transition au même moment : ces systèmes sont hétérogènes. C'est ce que l'on constate lors de l'ébullition d'une casserole d'eau : l'eau n'est pas instantanément transformée en gaz mais forme un mélange turbulent d'eau et de bulles de vapeur d'eau. Les systèmes étendus hétérogènes sont difficiles à étudier car leurs dynamiques sont violentes et peu contrôlables. C'est le cas de nombreux systèmes, et notamment des transitions solide/liquide/gaz.

Les transitions du second ordre sont des transitions dites de phase continues ; il n'y a pas d'enthalpie associée. C'est le cas par exemple de la transition ferromagnétique, de la transition superfluide et de la condensation de Bose-Einstein. Toutefois, la question de l'existence même des transitions de second ordre est un très vieux débat, et il semble aujourd'hui accepté qu'il n'existe pas de transitions du second ordre stricto sensu⁵.

Il existe également des transitions de phase d'ordre infini. Elles sont continues mais ne brisent aucune symétrie (voir ci-dessous). L'exemple le plus fameux est la transition Berezinsky-Kosterlitz-Thouless dans le modèle XY à deux dimensions. Ce modèle permet de décrire de nombreuses transitions de phase quantiques dans un gaz d'électrons à deux dimensions.

- C'est quoi la chaleur latente. La **chaleur latente de vaporisation** est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kg de liquide (à pression et température constantes) pour obtenir 1 kg de vapeur saturée. Unité J/kg
- différence entre transition de phase d'ordre 1 et d'ordre 2. Les **transitions de phase d'ordre 1** sont celles qui sont caractérisées par une variation continue de g (enthalpie libre massique) et une discontinuité de ses dérivées premières. Une transition de phase est une **transitions de phase d'ordre élevé** selon la classification d'Ehrenfest si l'enthalpie libre massique g et ses dérivées premières sont des fonctions continues. Les dérivées deuxièmes, etc. de g

varient brutalement. Comme l'entropie massique ne varie pas, les transitions de phase d'ordre élevé sont caractérisées par l'absence de chaleur latente de transition, ce qui constitue un critère. Exemples de transitions de phase d'ordre 2 :

- transition de phase liquide-gaz au point critique.
- transition conducteur-supraconducteur.
- transition ferro-para.
- Thermocouple, définition et types. Type K. **Type K**. Composition : Chromel (alliage nickel + chrome) / Alumel (alliage nickel + aluminium (5 %) + silicium)
- Différence entre thermocouple, thermistance et sonde. Un **thermocouple** génère une tension en fonction de l'écart de température entre le point de mesure et la source froide de référence. Une sonde de platine est basée sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température
- types d'incertitudes
- para, ferro, dia