Physique : DM9

Vers une nouvelle définition du Kelvin (Centrale PC - 2016)

I – L'agitation thermique

IA1-a) /2 : Résultat : 2pts
IA1-b) /2 : Résultat : 1+1 pts (formule + interprétation de mgz)
IA2) /2 : Résultats : 1+1 pts (formule de v_l et comparaison à v_q)
IA3) /2 : Résultats : 1+1 pts (Calcul de δz et AN puis conclusion)
IB1) /1 : AN+conclusion
IB2) /1 : 1 si les deux lois sont bien écrites, 0 sinon
IB3-a) /1 : 1 si les deux lois sont bien écrites, 0 sinon
IB3-b) /1 : D'Alembert avec c_e bien défini, 0 sinon.
IB3-c) /2 : 1 point pour R_c et 1 point pour $\gamma\ et\ \lambda$
IB4-a) /2 : Démo propre + résultat de ω_n.
IB4-b) /1 : Résultat
IB4-c) /2 : Résultat (0 sinon)
IB5-a) /2 : Démo propre + résultat $< de_n >$
IB5-b) /1 : Résultat
IB6-a) /2 : Résultat $U_{eff,n}^2 = \frac{2k_BTRc_e}{D}$
IB6-b) /1 : Résultat U_{eff}.
IB7-a) /2 : Expression de k_B + AN (unité fausse = -1)
IB7-b) /1 : Une, des trois idées, proposée = 1pt.

II – Mesure acoustisque

IIA1) /1 : Résultat
IIA2-a) /3 : Ecriture des trois équations linéarisées (/2) + résultat final (/1)
IIA2-b) /2 : Obtention de c_a^2 ou 0 sinon
IIA2-c) /1 : Expression $p < \frac{2.10^{-6}}{\mathrm{B}}$
IIA3) /1 : Valeur numérique de $\frac{\delta c_a}{c_a}$
IIB1-a) /2 : Ecrire $\vec{v} = \pm\overrightarrow{grad}\phi$ (/1) puis résultat final (/1)
IIB1-b) /2 : Equation finale.
IIB2) /1 : Une des formes proposées
IIB3) /2 : Démo propre + Résultat + Commentaire (-1 si un des trois n'est pas fait ou faux)
IIB4) /3 : insécable (0 ou 3), résultat : $\phi(r,t)$
IIB5) /2 : $v_n = \frac{c_a}{2\pi}x_n$ et $\tan(ka) = ka$
IIB6) /2 : AN de c_a (/1) + conclusion (/1)
IIB7) /2 : AN de k_B (/1) + conclusion (/1)

I) L'agitation thermique

I.A.1) a) D'après la loi de statique des fluides $\frac{dp}{dz} = -\rho g$

De plus pour un GP : $pV = nRT \iff p = \frac{m}{MV}RT \iff p = \rho\frac{RT}{M}$

d'où $\frac{dp}{dz} = -\frac{pM}{RT}g \iff \frac{dp}{dz} + \frac{Mg}{RT}p = 0$

$$\iff \boxed{p(z) = p(0)\,e^{-\frac{Mg}{RT}z}}$$

$$\text{ou} = p(0)\,e^{-\frac{mg}{k_B T}z}$$

b) Soit $p = \rho\frac{RT}{M} \iff p = n_v k_B T$

$\Rightarrow \boxed{n_v(z) = N_0 e^{-mgz/k_BT} \text{ où } N_0 = \frac{p_0}{k_B T}}$ et m = masse d'une particule d'air

Le terme mgz représente l'Ep de pesanteur

I.A.2) . On peut écrire $n_v(z) = N_0 e^{-z/H}$ où $\boxed{H = \frac{k_B T}{mg}}$

. Pour une chute libre : $v_e = \sqrt{2gH} \iff \boxed{v_e = \sqrt{\frac{2k_BT}{m}}}$

. D'où $v_q = \sqrt{\frac{2}{3}}v_e \simeq 1{,}22 v_e$. Elles sont du même ordre de grandeur

I.A.3) . Considérons une balle de masse $m = 100g$ à $T = 300K$. En comparant l'E_{pp} à $k_B T$ on obtient : $mg\,\delta z = k_B T \iff \delta z = \dfrac{k_B T}{mg} = \underline{4 \cdot 10^{-21} m}$.

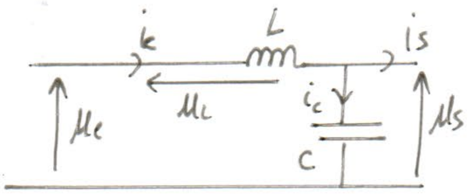
. Ainsi sous l'effet de l'agitation thermique le barycentre est quasi-immobile. On peut donc considérer qu'<u>il y a immobilisation absolue de la balle</u>.

I.B.1) La vitesse d'agitation thermique des électrons dans le métal est t.q :

$$v_q = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} \sim 10^5 \, ms^{-1} \ll c$$

$\Rightarrow$ <u>les e^- ne sont pas relativistes</u>

I.B.2)



$$\boxed{\text{Soit } \begin{cases} i_e = i_s + i_c \iff i_e = i_s + C\dfrac{du_s}{dt} \\ u_e = u_L + u_s \iff u_e = u_s + L\dfrac{di_e}{dt} \end{cases}}$$

I.B.3) a) De m̂ :

$$\begin{cases} i(x,t) = i(x+dx,t) + \gamma dx \dfrac{\partial u(x+dx,t)}{\partial t} \\ u(x,t) = u(x+dx,t) + \lambda dx \dfrac{\partial i(x,t)}{\partial t} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Donc : } \begin{cases} \dfrac{\partial i}{\partial x} = -\gamma \dfrac{\partial u}{\partial t} & (1) \\ \text{et} \\ \dfrac{\partial u}{\partial x} = -\lambda \dfrac{\partial i}{\partial t} & (2) \end{cases}}$$

(b) (1) donne : $\dfrac{\partial^2 i}{\partial t \partial x} = -\gamma \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}$

(2) donne : $\dfrac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = -\dfrac{1}{\lambda} \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Le théorème de Schwarz donne : $\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \lambda\gamma \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}$

$$\Leftrightarrow \boxed{\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \dfrac{1}{c_e^2} \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \text{où } c_e = \dfrac{1}{\sqrt{\lambda\gamma}}} \quad (3)$$

(c) . En notation complexe (3) donne : $(-ik)^2 \underline{u} = \dfrac{1}{c_e^2}(i\omega)^2 \underline{u}$

$$\Leftrightarrow \boxed{k = \dfrac{\omega}{c_e}} \quad (4)$$

. A l'aide de (1) : $(-ik)\,\underline{i} = -\gamma (i\omega)\,\underline{u}$

$$\Rightarrow R_c = \dfrac{\underline{U}}{\underline{I}} = \dfrac{k}{\gamma\omega} = \dfrac{1}{c_e \gamma} = \boxed{\sqrt{\dfrac{\lambda}{\gamma}} = R_c} \quad (5)$$

Donc : $\begin{cases} \lambda = R_c^2 \gamma \\ \lambda = \dfrac{1}{c_e^2 \gamma} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lambda = R_c^2 \gamma \\ \text{et} \\ R_c^2 \gamma = \dfrac{1}{c_e^2 \gamma} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\begin{cases} \gamma = \dfrac{1}{R_c c_e} \\ \lambda = \dfrac{R_c}{c_e} \end{cases}} \quad (6)$

I.B.4) (a) On remplace $u(x,t) = U(x) \cos(\omega t)$ dans (3) d'où :

$$U'' \cos(\omega t) = \dfrac{1}{c_e^2} . U (-\omega^2) \cos(\omega t)$$

$$\Leftrightarrow \dfrac{d^2 U}{dx^2} + \dfrac{\omega^2}{c_e^2} U = 0 \quad \text{où} \quad \dfrac{\omega^2}{c_e^2} = k^2$$

Donc $U(x) = A\cos(kx) + B\sin(kx)$

avec $\begin{cases} U(0) = 0 \Leftrightarrow A = 0 \\ U(D) = 0 \Leftrightarrow \sin(kD) = 0 \Leftrightarrow k_n = n\pi/D \text{ où } n \in \mathbb{N}^* \end{cases}$

$$\rightarrow \boxed{U(x) = V_{0n} \sin(k_n x) \text{ où } k_n = \frac{n\pi}{D} \text{ avec } n \in \mathbb{N}^*}$$

$$\rightarrow \boxed{\omega_n = \frac{n\pi c_e}{D}}$$

(b) Soit $\omega_n = 2\pi f_n \Rightarrow f_n = \dfrac{n c_e}{2D}$

or $N = \dfrac{\Delta f}{|f_{n+1} - f_n|} = \boxed{\dfrac{\Delta f \cdot 2D}{c_e} = N}$

(c) (1) $\Rightarrow \dfrac{\partial i_n}{\partial x} = -\gamma \dfrac{\partial u_n}{\partial t} = -\gamma . V_{0n} \sin(k_n x)(-\omega_n)\sin(\omega_n t)$

$\Rightarrow i_n(x,t) = -\dfrac{\gamma \omega_n V_{0n}}{k_n} \sin(\omega_n t) \cos(k_n x) + cste(t)$

or $i_n(x,t) = 0$ ssi $V_{0n} = 0 \Rightarrow cste(t) = 0$

De plus $\gamma \dfrac{\omega_n}{k_n} = \dfrac{1}{R_c . c_e} . c_e = \dfrac{1}{R_c}$

$$\Rightarrow \boxed{i_n(x,t) = -\frac{V_{0n}}{R_c} \cos\left(\frac{n\pi}{D}x\right) \sin(\omega_n t)}$$

I.B.5) (a) Soit $de_n(x,t) = \dfrac{1}{2}\gamma dx\, u_n^2 + \dfrac{1}{2}\lambda dx\, i_n^2$

$$= \frac{1}{2}dx\left[\gamma . V_{0n}^2 \sin^2(k_n x)\cos^2(\omega_n t) + \frac{\lambda}{R_c^2} V_{0n}^2 \cos^2(k_n x)\sin^2(\omega_n t)\right]$$

Or $\frac{\lambda}{R_c^2} = \gamma$ et $\langle \cos^2(\omega_n t) \rangle = \langle \sin^2(\omega_n t) \rangle = \frac{1}{2}$

d'où
$$\boxed{\begin{cases} de_m(x,t) = \frac{1}{2}\,dx.\,\gamma U_{om}^2 \left[\sin^2(k_m x)\cos^2(\omega_n t) + \cos^2(k_m x)\sin^2(\omega_m t)\right] \\ \text{et} \\ \langle de_m(x) \rangle = \frac{1}{4}\gamma U_{om}^2\,dx \end{cases}}$$

ⓑ Soit $\langle E_m \rangle = \int_0^D \frac{\langle de_m(x) \rangle}{dx}\,.dx$

$\Leftrightarrow \langle E_m \rangle = \frac{1}{4}\gamma U_{om}^2\,.D.$

$\Leftrightarrow \boxed{\langle E_m \rangle = \frac{U_{om}^2 D}{4 R_c C_e}}$ car $\gamma = \frac{1}{R_c . C_e}$

I.B.6) ⓐ Soit $\begin{cases} \langle E_m \rangle = k_B T \\ \text{et} \\ R = R_c \end{cases} \Rightarrow k_B T = \frac{U_{om}^2 D}{4 R C_e} \Rightarrow U_{om}^2 = \frac{4 R C_e . k_B T}{D}$

d'où $u_{eff,m}^2 = \langle u_m^2(x) \rangle = \frac{U_{om}^2 \sin^2(k_m x)}{2}$

$\Leftrightarrow u_{eff,m}^2 = \frac{2 R C_e . k_B T}{D} \sin^2(k_m x)$

$\Rightarrow \boxed{u_{eff,m}^2 = U_{eff,m}^2 \sin^2(k_m x) \text{ avec } U_{eff,m}^2 = \frac{2 k_B T R C_e}{D}}$

ⓑ Soit $U_{eff}^2 = \sum_{n=1}^{N} U_{eff,m}^2 = \frac{N.\ 2 k_B T R C_e}{D}$

or $N = \frac{2 D \Delta f}{C_e} \Rightarrow U_{eff}^2 = 4 k_B T R \Delta f$

d'où $\boxed{U_{eff} = \sqrt{4 k_B T . R \Delta f}}$

I.B.7) (a) * Soit $V_{eff} \div R^{1/2}$

$\Rightarrow \log V_{eff} \div \frac{1}{2}\log R$, effectivement sur le graphe la pente est de $\frac{1}{2}$.

* Soit $V_{eff} \div \Delta f^{1/2}$

Si $\Delta f_2 = 100\,\Delta f_1$ alors $V_{eff_2} = 10\,V_{eff_1}$ ce que l'on retrouve sur le graphe

* Pour $\Delta f = 1\,\text{Hz}$, $\begin{cases} R = 40\,\Omega \\ R = 100\,\Omega \end{cases}$ on obtient $\underline{V'_{eff}} = \begin{matrix} 4{,}0.10^{-7}\,V \\ 6{,}5.10^{-7}\,V \end{matrix} = A\,V_{eff}$.

or $k_B = \dfrac{V_{eff}^2}{4TR\Delta f}$

$$\boxed{\Leftrightarrow k_B = \dfrac{V'^2_{eff}}{4A^2\,TR\,\Delta f}} \simeq \underline{1{,}33\,10^{23}\,J.K^{-1}}$$

(b) . Les valeurs des tensions efficaces sont extrêmement faibles, il faut donc éliminer le bruit électromagnétique à l'aide d'une enceinte métallique qui jouera le rôle de blindage.

. La résistance peut chauffer, il faut donc thermostater l'enceinte.

. L'amplification de tension peut ajouter un bruit significatif d'où la nécessité d'un grand nombre de mesures.

II) Mesure Acoustique

II.A.1) D'après l'énoncé $\ell \geq \ell_{inter}$

Or $n_{lim} = \dfrac{1}{\ell_{inter}^3}$ d'où $P_{lim} = n_{lim} \cdot k_B T$

$$\Leftrightarrow P_{lim} = \frac{k_B T}{\ell_{inter}^3}$$

$$\Rightarrow \boxed{P \leq P_{lim} \simeq 3.10^4 \text{ Pa}}$$

II.A.2) a) Soit $\begin{cases} \mu(x,t) = \mu_0 + \mu_1(x,t) \\ p(x,t) = p_0 + \Pi(x,t) \end{cases}$ et $v(x,t) = v_1(x,t) \ll c_{son}$.

D'où au 1er ordre :

- eq. conservation de la masse : $\dfrac{\partial \mu}{\partial t} + \mathrm{div}(\mu \vec{v}) = 0$ s'écrit : $\mu_0 \dfrac{\partial v}{\partial x} = -\dfrac{\partial \mu_1}{\partial t}$ (1)
- eq d'Euler : $\mu\left(\dfrac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}.\overrightarrow{grad})\vec{v}\right) = -\overrightarrow{grad}\, p$ s'écrit : $\mu_0 \dfrac{\partial v}{\partial t} = -\dfrac{\partial \Pi}{\partial x}$ (2)
- Compressibilité isentropique $\chi_S = \dfrac{1}{\mu}\left(\dfrac{\partial \mu}{\partial p}\right)_S$ s'écrit : $\chi_S = \dfrac{1}{\mu_0} \cdot \dfrac{\mu_1}{\Pi}$ (3)

(1) donne : $\mu_0 \dfrac{\partial^2 v}{\partial t \partial x} = -\dfrac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2}$

(2) donne : $\mu_0 \dfrac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} = -\dfrac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2}$

$\Rightarrow \dfrac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2} = \dfrac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2}$ avec $\mu_1 = \mu_0 \chi_S \Pi$.

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial^2 \Pi}{\partial t^2} = c_a^2 \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} \text{ où } c_a^2 = \frac{1}{\mu_0 \chi_S}}$$

b) Pour un GP : $\mu = \dfrac{PM}{RT} \Rightarrow \chi_T = \dfrac{1}{\mu}\left(\dfrac{\partial \mu}{\partial p}\right)_T = \dfrac{1}{P}$

or $\chi_S = \dfrac{\chi_T}{\gamma} \Rightarrow \chi_S = \dfrac{1}{\gamma P} \Rightarrow c_a^2 = \dfrac{\gamma}{\mu_0} P = \dfrac{\gamma}{\mu_0} \mu . \dfrac{RT}{M}$

$$\Rightarrow \boxed{c_a^2 = \frac{\gamma N_a k_B T}{M}} \text{ car } R = N_a k_B$$

ⓒ Soit $c_{a,réel}^2 = c_a^2(1+\beta p) \Rightarrow c_{a,réel} \overset{D.L}{\simeq} c_a\left(1+\frac{\beta p}{2}\right)$

$$\rightarrow \left|\frac{c_{a,réel} - c_a}{c_a}\right| = \frac{\beta p}{2} < 10^{-6}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{p < \frac{2.10^{-6}}{\beta}} \simeq \underline{1{,}5.10^5\,Pa}$$

II.A.3) Soit $k_B = \frac{M c_a^2}{\gamma N_a T}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\delta k_B}{k_B} = \sqrt{\left(\frac{\delta M}{M}\right)^2 + 4\left(\frac{\delta c_a}{c_a}\right)^2 + \left(\frac{\delta N_a}{N_a}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T}\right)^2}} \text{ lorsque } \delta\gamma = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\delta c_a}{c_a} = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{\delta k_B}{k_B}\right)^2 - \left(\frac{\delta M}{M}\right)^2 - \left(\frac{\delta N_a}{N_a}\right)^2 - \left(\frac{\delta T}{T}\right)^2} = \underline{0{,}64.10^{-6}}$$

Cette valeur se rapproche de celle recherchée en II.A.2

I.B.1) ⓐ Par symétrie sphérique $\vec{v}(\vec{r},t) = v(r,t)\,\vec{e_r}$ donc $\vec{rot}\,\vec{v} = \vec{0}$ (cf Formulaire).

$$\Rightarrow \boxed{\vec{v} = \vec{grad}\,\phi}$$

or l'équation d'Euler donne : $\mu_0 \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial \Pi}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial \Pi}{\partial r} = -\mu_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial r \partial t}$

donc $\Pi(r,t) = -\mu_0 . \frac{\partial \phi}{\partial t}(r,t) + \underbrace{cste(t)}_{=0}$ car $\Pi(r,t) = 0$ si $\phi(r,t) = 0$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial \phi}{\partial t}(r,t) = -\frac{1}{\mu_0}\Pi(r,t)}$$

(b) Soit $\begin{cases} \dfrac{\partial \phi}{\partial t}(r,t) = -\dfrac{1}{\mu_0}\,\pi(r,t) \\ \text{et} \\ \Delta\pi(r,t) - \dfrac{1}{c_a^2}\dfrac{\partial^2 \pi}{\partial t^2}(r,t) = 0 \end{cases} \Rightarrow \dfrac{\partial}{\partial t}\left[\Delta\phi - \dfrac{1}{c_a^2}\dfrac{\partial^2\phi}{\partial t^2}\right] = 0$

$$\Rightarrow \Delta\phi - \frac{1}{c_a^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = cste(r) = -\Delta\alpha(r).$$

$$\Rightarrow \Delta(\alpha+\phi) - \frac{1}{c_a^2}\frac{\partial^2(\alpha+\phi)}{\partial t^2} = 0$$

Il existe donc un potentiel qui vérifie :

$$\boxed{\Delta\phi - \frac{1}{c_a^2}\cdot\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = 0}$$

II.B.2) Les parois étant rigides $v(r=a)=0$. La CL entraîne une quantification des ω.

$$\Leftrightarrow \left.\frac{\partial\phi}{\partial r}\right|_{r=a} = 0$$

$$\Leftrightarrow \left.\frac{\partial f}{\partial r}\right|_{r=a} = 0$$

$$\Leftrightarrow \boxed{f'(a) = cste}$$

II.B.3) Soit $\vec{j_e} = \pi\vec{v} \Leftrightarrow \vec{j_e} = -\mu_0\dfrac{\partial\phi}{\partial t}\cdot\dfrac{\partial\phi}{\partial r}\vec{e_r}$

$$\Leftrightarrow \vec{j_e} = -\mu_0 f(-\omega)\sin(\omega t).\, f'\cos\omega t\,\vec{e_r}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\vec{j_e}(r,t) = \frac{\mu_0\omega}{2}\sin(2\omega t).\, f(r).\, f'(r)\,\vec{e_r}}$$

D'où $\boxed{\langle\vec{j_e}\rangle_t = 0}$ ce résultat est logique car les ondes stationnaires ne transportent pas d'énergie. L'énergie est confinée dans le résonateur.

II.B.4) Soit $\begin{cases} \Delta\phi - \dfrac{1}{c_a^2}\dfrac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = 0 \\ \text{et} \\ \phi = f(r)\cos(\omega t) \end{cases}$

d'où : $\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial^2}{\partial r^2}\left[r f(r)\cos\omega t\right] + \dfrac{1}{c_a^2}\omega^2 f(r)\cos(\omega t) = 0$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial^2}{\partial r^2}\left(r f(r)\right) + \underbrace{\frac{\omega^2}{c_a^2}}_{k^2} r f(r) = 0$$

$$\Leftrightarrow r f(r) = A\sin kr + B\cos kr$$

$$\Leftrightarrow f(r) = \frac{A}{r}\sin kr + \frac{B}{r}\cos kr$$

or $f(r)$ existe en $r=0$ d'où $B=0$ $\Rightarrow \boxed{\phi(r,t) = \dfrac{A}{r}\sin(kr)\cos(\omega t)}$

II.B.5) Or $\left.\dfrac{\partial\phi}{\partial r}\right|_{r=a} = 0 \Leftrightarrow \left.\left[-\dfrac{A}{r^2}\sin(kr) + \dfrac{kA}{r}\cos(kr)\right]\cos\omega t\right|_{r=a} = 0$

$$\Leftrightarrow -\frac{\sin(ka)}{a} + k\cos(ka) = 0$$

$$\Leftrightarrow \tan(ka) = ka$$

Posons $\boxed{g(x) = \tan(x) - x}$ et notons x_n la racine n-ième de l'équation $g(x) = 0$.

$\Rightarrow k_n a = x_n \Leftrightarrow \dfrac{2\pi\nu_n}{c_a} = x_n \Leftrightarrow \boxed{\nu_n = \dfrac{c_a}{2\pi}\cdot x_n}$

II.B.6) Donc $\underline{c_a = \dfrac{2\pi\nu_1 a}{x_1}} = 307{,}8245_1\,ms^{-1}$ où $\dfrac{\delta c_a}{c_a} = \sqrt{\left(\dfrac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta\nu_1}{\nu_1}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta x_1}{x_1}\right)^2} \simeq 1{,}8.10^{-6}$

or $\dfrac{\delta c_a}{c_a}$ doit être inférieur à $0{,}64.10^{-6}$ (II.A.3) donc __ce n'est pas acceptable__

II.B.7) Or $k_B = \dfrac{c_a^2 M}{\gamma N_a T} = 1{,}380648_3.10^{-23}\,JK^{-1}$ et $\dfrac{\delta k_B}{k_B} = \sqrt{4\left(\dfrac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta M}{M}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta N_a}{N_a}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta T}{T}\right)^2} = 3{,}9.10^{-6}$

$\Rightarrow \delta k_B = 5{,}4.10^{-29}\,JK^{-1} \Rightarrow k_B = \left[\underbrace{1{,}380648}_{} \pm 6.10^{-6}\right]10^{-23}\,JK^{-1}$

On peut donc fixer __6 chiffres significatifs__ par cette mesure