**Bac 2025 Polynésie Jour 1 Correction ©** [**https://www.labolycee.org**](https://www.labolycee.org)

**EXERCICE 3 (5 points)**

**Performances des bolomètres de Planck**

**Données :**

* célérité de la lumière : *c* = 3,00×108 m∙s-1 ;
* différents domaines du spectre électromagnétique :

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nom dudomaine | Rayon X | Ultraviolet | Visible | Infrarouge | Micro-onde | Radio |
| Domaine de longueur d’onde *λ* | de 0,01 à 100 nm | de 10 à 400 nm | de 400 à 800 nm | de 0,8 à 1 mm | de 1 à 300 mm | de 0,1 à 1 km |

Le CMB se caractérise par un rayonnement thermique de température caractéristique *TCMB* = 2,725 K. Afin d’étudier les variations de température autour de cette valeur, le satellite Planck est équipé d’un bolomètre sensible au rayonnement de fréquence *f0* = 217 GHz.

**Q1. Calculer la longueur d’onde *λ0* correspondant à la fréquence *f0* et nommer le domaine du spectre auquel appartient l’onde électromagnétique associée au CMB.**





D'après le tableau fourni, λ₀ = 1,38 mm se situe dans le domaine des **micro-ondes** (de 1 à 300 mm).

**Données :**

* la puissance *PCN* reçue par une surface *S* soumise au rayonnement d’un corps à la température *TCN* est donnée par : $P\_{CN}=σ∙T\_{CN}^{4}∙S$ où *σ* est la constante de Stefan-Boltzmann, *σ* = 5,67×10–8 W∙m-2∙K-4 ;
* la surface de la partie sensible au CMB vaut *SCMB* = 9,93×10–8 m2∙. Pour étudier le CMB autour de la fréquence *f0*, un filtre est placé devant cette surface, il sélectionne 25,2 % de la puissance reçue.

**Q2. Montrer que la puissance *PCMB* reçue par le bolomètre de la part du CMB au travers du filtre vaut *PCMB* = 7,82×10–14 W.**

*P*CN= *σ*·*T*4CN·*S*CMB

Après passage par le filtre, il ne reste que 25,2% de la puissance reçue, donc *PCMB* = 0,252 × *P*CN

*PCMB* = 0,252 × *σ*·*T*4CN·*S*CMB

*PCMB* = 0,252× 5,67×10–8 × 2,7254 ×9,93×10–8 = 7,82×10–14 W



Cette partie sensible est en contact avec un thermostat plus froid qui permet d’évacuer l’énergie reçue, le matériau permettant le contact possède une résistance thermique *Rcontact*.

CMB



Schéma simplifié d’un bolomètre.

On cherche à modéliser l’évolution de la température de la partie sensible en fonction du temps par un bilan d’énergie. On not *TT* la température du thermostat et *T* la température de la partie sensible du bolomètre.

**Données :**

* la puissance *Psyst* reçue par un système à la température *T* en contact avec un thermostat à la température *T0* par l’intermédiaire d’une résistance thermique *Rth* s’exprime :

$$P\_{syst}=-\frac{\left(T\_{syst}-T\_{0}\right)}{R\_{th}}$$

**Q3. Exprimer la puissance reçue *PT* par la partie sensible du bolomètre de la part du thermostat en fonction des grandeurs associées au bolomètre qui sont *T*, *TT* et *Rcontact*. Justifier le signe de la valeur de cette grandeur.**

L’expression donnée  , devient ici : .

Le bolomètre reçoit de la chaleur de la part du thermostat, c’est qu’il est moins chaud que le thermostat ainsi *T* < *T*T donc *T* – *T*T < 0 alors –(*T* – *T*T) > 0. La puissance reçue a une valeur positive ce qui est en accord avec les conventions utilisées en thermodynamique.

**Q4. Exprimer le transfert thermique *Qtot* échangé par la partie sensible du bolomètre avec l’ensemble des sources extérieures pendant une durée Δ*t* en fonction de *PCMB*, *T*, *TT* , Δ*t* et *Rcontact* . On admettra que, pendant la durée Δ*t*, la puissance reçue de la part du thermostat reste constante.**

La partie sensible du bolomètre reçoit *P*CMB à travers le filtre et *P*T à travers le matériau de résistance *R*contact.



*Q*tot = (*P*CMB + *P*T)·Δ*t*

*Q*tot = 

**Q5. Énoncer le premier principe de la thermodynamique en précisant le nom de chaque grandeur ainsi que leur unité.**

La variation d’énergie interne Δ*U* d’un système est égale à la somme des transferts d’énergie sous forme de travaux *W* et sous forme de chaleur *Q*.

Δ*U* = *W* + *Q*.

Toutes les énergies sont exprimées en joules.

On démontre que l’équation différentielle régissant l’évolution de la température en fonction du temps est donnée par :

$$\frac{dT}{dt}+\frac{T}{R\_{contact}∙C\_{bolo}}=\frac{P\_{CMB}}{C\_{bolo}}+\frac{T\_{T}}{R\_{contact}∙C\_{bolo}}$$

**Données :**

* température du thermostat relié à la partie sensible : *TT* = 0,100 K ;
* résistance thermique du matériau qui permet le contact entre la partie sensible du bolomètre et le thermostat : *Rcontact* = 3,75×109 K∙W-1 ;
* capacité thermique de la partie sensible du bolomètre : *Cbolo* = 0,40×10–12 J∙K-1 ;
* dans le système international d’unités, le watt est équivalent à des joules par seconde J∙s-1.

**Q6. Par une analyse dimensionnelle, montrer que la quantité *τ* = *Rcontact* ∙ *Cbolo* est homogène à un temps, appelé temps caractéristique. Calculer sa valeur.**

En utilisant les unités des grandeurs, avec *R*contact en K.W-1 et *C*bolo en J·K-1, alors le
produit *Rcontact* ∙ *Cbolo* a pour unités K.W-1·J·K-1 = W–1·J or le Watt est équivalent à des joules par seconde alors (J·s-1)-1·J = s.

τ = *Rcontact* ∙ *Cbolo*

τ = 3,75×109 × 0,40×10–12 = 1,5×10–3 s = 1,5 ms

**Q7. Sachant que la fonction** $T(t)=T\_{T}+T\_{1}∙\left(1-e^{- \frac{t}{τ}}\right)$ **est la solution de l’équation différentielle satisfaisant à la condition initiale *T*(0) = *TT*, donner l’expression de *T1* ainsi que sa valeur.**

Pour une durée très longue *t* 🡪 ∞, alors *T*(*t* 🡪 ∞) = *T*T + *T*1 · (1 – )

 *T*(*t* 🡪 ∞) = *T*T + *T*1 · (1 – 0)

 *T*(*t* 🡪 ∞) = *T*T + *T*1

 *T*1 = *T*(*t* 🡪 ∞) – *T*T

Après cette longue durée le système a atteint l’équilibre thermique, sa température *T*(*t* 🡪 ∞) est égale à celle du rayonnement cosmique *T*CMB.

 *T*1 = *T*CMB – *T*T

 *T*1 = 2,725 – 0,100 = 2,625 K

On admet que le bolomètre réalise une mesure de puissance fiable, dès que sa température se stabilise, au bout d’une durée égale à 5*τ*.

Afin d’étudier le CMB, le ciel est divisé en petites zones. Le satellite Planck balaie chaque zone pendant une durée Δ*tscan* = 14 ms.

**Q8. Montrer que le bolomètre du satellite Planck peut obtenir une mesure fiable du CMB.**

En Q6. on a calculé *τ* = 1,5 ms donc 5*τ* = 5×1,5 = 7,5 ms.

Cette durée de 5*τ* est inférieure à la durée de mesure du satellite ainsi la température du bolomètre a le temps de se stabiliser pendant la mesure.

Le bolomètre fait bien une mesure fiable du CMB.