

Expérience 1 : Flux thermique à travers un béccher en plastique

1. Introduction

Dans la présente expérience sera déterminé l'indice k (constante de refroidissement) dans l'air ambiant d'un béccher en plastique rempli d'eau chaude. Des conclusions en seront tirées quant au transfert de chaleur aux trois étapes eau → plastique → air ambiant.

1.1 Matériel à disposition

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 1 béccher en plastique • 1 pièce de Styropor (comme plaque de fond) • 1 pièce de Styropor avec des trous (comme couvercle) • 1 pied à coulisse • 1 balance • 1 règle graduée • 1 ventilateur 12 V= • 1 source de tension 12 V= | <ul style="list-style-type: none"> • 1 rouleau de ruban adhésif • 1 thermomètre digital • 1 chronomètre digital • 1 béccher en verre (récipient intermédiaire) • Papier millimétré (semi-logarithmique) • 1 bouilloire électrique (à l'avant de la salle) |
|---|---|

1.2 Indications générales

- Le ventilateur ne doit pas être alimenté avec plus de 12 V=.
- Toutes les mesures et tous les calculs doivent être documentés de manière compréhensible. Cela signifie que toutes les grandeurs mesurées doivent être consignées et que leurs relations avec les valeurs utilisées dans les calculs doivent être évidentes.
- Toutes les grandeurs doivent être accompagnées des unités SI correctes.
- Manier l'eau chaude/bouillante avec précaution !

2. Théorie

Un corps plus chaud que son environnement se refroidit selon la loi suivante :

$$\Delta T(t) = T(t) - T_U = (T_0 - T_U) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = (T_0 - T_U) \cdot e^{-k \cdot t}$$

$T(t)$ représente la température du corps au temps t , T_0 la température initiale et T_U la température de l'environnement (toutes les températures en °C). τ s'appelle constante de temps (en s) et k est la constante de refroidissement (en s^{-1}). Similairement au cas de la décharge électrique d'un condensateur, on a pour la constante de temps :

$$\tau = R_{th} \cdot C_{th} = R_{th} \cdot c \cdot m$$

Où R_{th} est la résistance thermique de conduction absolue totale (eau → plastique → air ambiant), C_{th} la capacité thermique (eau & béccher), c la chaleur spécifique (eau, resp. béccher) et m la masse du corps (eau, resp. béccher).

Le transfert de chaleur se fait en trois étapes, en « série » :

$$R_{th} = R_1 + R_2 + R_3$$

R_{th} est ainsi la somme de R_1 (résistance thermique eau \rightarrow paroi intérieure du plastique), R_2 (résistance thermique à travers la paroi de plastique) et R_3 (résistance thermique paroi extérieure du plastique \rightarrow air ambiant). De plus, on a :

$$R_{th} = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{h_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_3} \right) = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{U_{total}} \right)$$

A est l'aire latérale du bécber en plastique (le flux de chaleur par le fond et le couvercle est empêché par le Styropor), l_2 l'épaisseur de la paroi de plastique, λ_2 la conductivité thermique du plastique (en $\frac{W}{m \cdot K}$), h_1 et h_3 sont les coefficients de transfert thermique (en $\frac{W}{m^2 \cdot K}$) eau \rightarrow plastique, resp. plastique \rightarrow air ambiant. Le ventilateur est utilisé pour simuler un « vent » modéré. U_{total} est appelé coefficient de conduction thermique et joue notamment un grand rôle dans l'isolation thermique des maisons.

3. Exercices

Exercice 1 : mesures [total : 5 points] :

- Avant l'expérience, déterminez les caractéristiques techniques nécessaires du bécber en plastique (y compris indication des erreurs). [2 points]
- Remplissez le bécber en plastique d'eau chaude et mesurez, pendant une durée suffisamment longue, la température de l'eau se refroidissant en fonction du temps. Consignez les mesures dans un tableau créé par vos soins. [3 points]

Exercice 2 : diagramme [total : 7 points] :

- Représentez la différence de température ΔT en fonction du temps t sur une feuille de papier millimétré semi-logarithmique. [3 points]
- Déterminez à partir du diagramme la constante de refroidissement expérimentale k . [4 points]

Exercice 3 : formule de calcul [3 points] :

Déduisez une formule pour $\Delta T(t)$ en fonction de U_{total} . Tenez compte tant de la chaleur spécifique de l'eau, que de celle du bécber vide. [3 points]

Exercice 4 : évaluation numérique et discussion [total : 9 points] :

- Déterminez une valeur expérimentale pour U_{total} à partir de l'indice k de l'exercice 2b). Valeurs connues : $c_{H_2O} = 4'182 \frac{J}{kg \cdot K}$ et $c_{plastique} = 1'400 \frac{J}{kg \cdot K}$ (bécber en plastique). [3 points]
- Déterminez maintenant U_{total} de façon théorique. On connaît : $h_1 \approx 350 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (eau immobile \rightarrow paroi fixe), $\lambda_2 = 0.17 \frac{W}{m \cdot K}$ (plastique) et $h_3 \approx 10 \text{ à } 30 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (paroi fixe \rightarrow air ambiant en mouvement). $\lambda_{H_2O} = 0.60 \frac{W}{m \cdot K}$ est aussi connu. Le(s)quel(s) des trois termes de U_{total} est/sont dominant(s), le(s)quel(s) est/sont secondaire(s) (théoriquement) ? [3 points]
- Comparez les valeurs expérimentale et théorique de U_{total} . Citez au minimum deux sources d'erreurs (systématiques), classées par importance (présumée), à chaque fois avec une courte justification ! [3 points]

Expérience 2 : Produits de désintégration du radon

1. Introduction

Des produits radioactifs successifs du nucléide radon 222, collectés à partir de l'air ambiant sur une plaque de polystyrène fortement chargée négativement, seront mesurés à l'aide d'un compteur Geiger-Müller « Inspector ». Des conclusions devront être tirées de l'activité totale, diminuant avec le temps, sur la plaque de polystyrène.

Attention : Le temps à disposition de **100 min** doit bien être réparti ! Suggestion :

/ **15 min** : préparation, exercice 1 / **20 min** : période de mesure A / **20 min** : évaluation, partie 1 /
/ **20 min** : période de mesure B / **25 min** : évaluation, partie 2 /

1.1 Matériel à disposition

- 1 compteur Geiger-Müller « Inspector »
- 1 plaque de polystyrène blanche (7x13 cm) (en bas à gauche dans la figure 1)
- 1 plaque d'espacement trouée (7x13 cm)
- 1 feuille de papier (7x13 cm) (écran contre le rayonnement α)
- 1 plaque de base avec 4 tiges
- 1 pièce de bois (6x12 cm)
- 1 chronomètre
- Papier millimétré (semi-logarithmique)

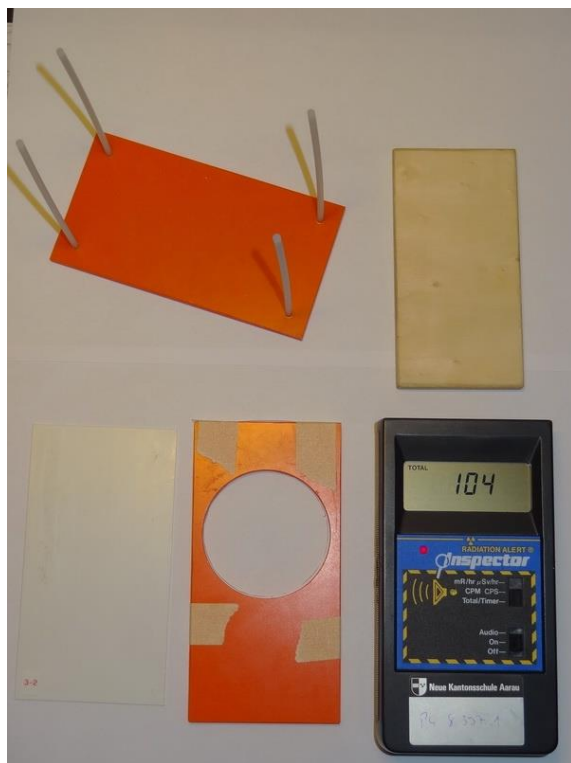


Figure 1 : matériel



Figure 2 : compteur Geiger-Müller « Inspector »

1.2 Indications générales

- L'expérience ne présente pas de danger, on n'y collecte que les produits de désintégration du radon normalement présent dans la pièce pour mesurer leur activité globale.
- **Aucune pression** ne doit être exercée sur la fenêtre de mesure dorée grillagée du compteur Geiger-Müller « Inspector » ; il faut toujours intercaler la plaque d'espacement lorsque l'« Inspector » est placé sur une source radioactive.
- Toutes les mesures et tous les calculs doivent être documentés de manière compréhensible. Cela signifie que toutes les grandeurs mesurées doivent être consignées et que leurs relations avec les valeurs utilisées dans les calculs doivent être évidentes.

2. Théorie

Le radon 222 provient de l'uranium 238, qui est naturellement présent presque partout en Suisse dans le sol, p.ex. en tant que composant de la roche granitique. Dans cette chaîne de désintégration, le radon 222 est le seul produit intermédiaire sous forme gazeuse, c'est pourquoi il est partout présent dans l'air ambiant et représente pour les humains la plus importante source naturelle de rayonnement interne. Il peut provoquer le cancer du poumon lorsqu'il est inhalé.

Dans cette expérience, du polonium 218 sera isolé sur une plaque de polystyrène chargée négativement à l'aide de l'étonnamment simple méthode « Philion » (voir H. v. Philipsborn & R. Geipel: « Radioaktivität und Strahlungsmessung », Regensburg, 2006) : lorsqu'un atome de radon se désintègre à proximité de la plaque de polystyrène, le polonium 218 résultant - chargé positivement à cause de l'expulsion d'électrons - se dirige vers la plaque et s'y dépose. Il se désintègre ensuite lui-même selon une chaîne de six produits successifs, jusqu'à arriver finalement au plomb 206, lequel est stable (voir la figure 3). Le compteur Geiger-Müller « Inspector » est pourvu sous le grillage de protection doré d'un très mince film perméable à chacun des trois types de rayonnement radioactif (α & β & γ).

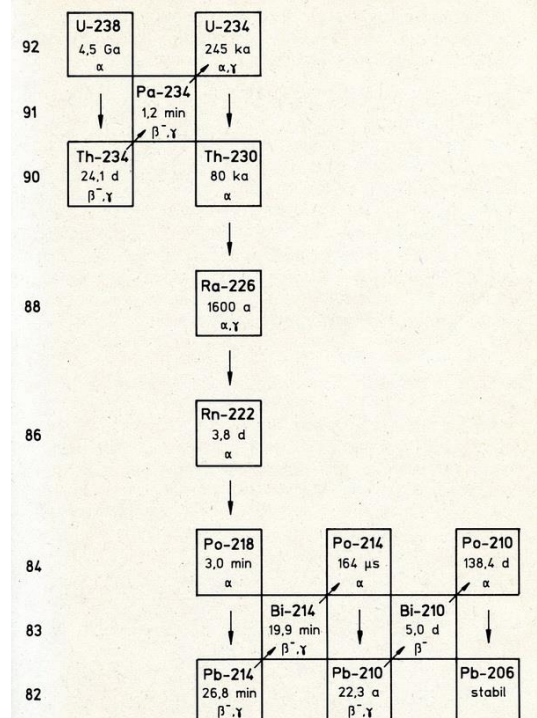


Figure 3 : chaîne de désintégration de l'uranium 238. A gauche est noté le numéro atomique et sous chaque nucléide se trouvent sa demi-vie et les formes de rayonnement qu'il produit (tiré de Philipsborn, 2006, S. 23)

La désintégration radioactive de chaque nucléide suit une loi exponentielle :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

$N(t)$ et N_0 sont les atomes radioactifs (encore) présents au temps t , respectivement au départ. La constante de désintégration k dépend de la demi-vie $T_{1/2}$ comme suit :

$$k = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$

Le nombre de désintégrations par unité de temps, c'est-à-dire l'activité $A(t)$, vérifie :

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = k \cdot N_0 \cdot e^{-k \cdot t} = k \cdot N(t)$$

Comme le compteur Geiger-Müller ne peut détecter toutes les désintégrations, on ne nomme pas la grandeur mesurée « activité » mais « taux d'impulsions » ou « taux de comptage » ; elle représente le nombre d'« événements » détectés par l'appareil par laps de temps (unité: ipm = impulsions par minute), et est en bonne approximation proportionnelle à l'activité effective.

Comme mentionné précédemment, en premier lieu se dépose sur la plaque de polystyrène du polonium 218. Toutefois, à l'emploi de l'« Inspector », ce n'est pas une quelconque activité partielle qui va être mesurée, mais l'activité totale $A(t)$, c'est-à-dire la somme de toutes les activités produites au cours du temps par la chaîne de désintégration, en tant que taux d'impulsions :

$$A(t) = A_1(t) + A_2(t) + \dots \approx A(0) \cdot e^{-k_{\text{total}} \cdot t}$$

k_{total} est une constante de désintégration mesurée et « moyennée » dans l'expérience. Elle est variable au cours du temps. Théoriquement, on peut obtenir l'activité totale à partir d'un système d'équations différentielles inhomogènes couplées, ce dont on va toutefois s'abstenir ici. Dans les exercices suivants, des conclusions devront être tirées des mesures de l'activité totale $A(t)$.

3. Exercices (commencez par lire tous les exercices !)

Indication pour toutes les mesures : Une mesure du taux d'impulsions se fait en principe de la manière suivante : les deux boutons sur la face supérieure de l'« Inspector » doivent toujours rester sur **On** et sur **Total/Timer**. Le bouton sur la face latérale en haut à droite (voir la figure 2) doit être placé d'abord sur **Off**, puis brièvement sur **Set** (temps de mesure : 00:01 min sera affiché), et enfin sur **On**, où commence la mesure (trois sons « piip »). Après 1 min, neuf « piip » se font entendre et la mesure est terminée. Le bouton doit alors être replacé sur **Off** ; etc.

Exercice 1 : mesure du rayonnement de fond [2 points] :

Mesurez le taux d'impulsions de fond à l'aide de l'« Inspector » (en unités ipm). Pour ce faire, positionnez l'« Inspector » à un endroit libre de la table. Prenez un nombre de mesures suffisant et calculez la moyenne. Indice : le rayonnement de fond est constitué majoritairement de rayons γ .

Collecte des produits de désintégration du radon : Chargez maintenant électriquement la plaque de polystyrène (à l'aide de la pièce de bois, frottez la face avant de la plaque environ dix fois en appuyant fortement). Soulevez alors précautionneusement la plaque (en ne touchant que les bords) et placez-la sur les tiges pendant 5 min (=temps d'exposition). Elle ne doit pas être touchée pendant ce temps. Finalement, posez prudemment la plaque sur le papier collé à la table et ne la déplacez plus pendant toute l'expérience. Placez à présent la plaque d'espacement trouée sur la plaque de polystyrène, la face recouverte de papier dirigée contre le bas. Positionnez ensuite l'« Inspector » au-dessus, aligné avec les plaques en dessous et commencez immédiatement les mesures (exercice 2).

Exercice 2 : mesures, tableaux de mesures [total : 8 points] :

- Mesurez le **taux d'impulsions brut** (rayonnements α & β & γ) sur la plaque de polystyrène en fonction du temps, selon une cadence d'une fois par minute. Les mesures doivent être effectuées sur un laps de temps suffisamment grand, au début (=période de mesure A) et contre la fin (=période de mesure B) ; elles peuvent par contre être interrompues au milieu, de telle façon qu'il reste du temps pour l'évaluation. Consignez les mesures dans un tableau créé par vos soins. [5 points]
- A l'aide de la feuille de papier, qui absorbe le rayonnement α , prenez tant au début qu'à la fin de la période de mesure des mesures isolées du taux d'impulsions brut (donc uniquement des rayonnements β & γ). Pour ce faire, placez la feuille de papier entre la plaque d'espacement trouée et l'« Inspector ». Notez ces mesures isolées dans un tableau séparé ! [3 points]

Exercice 3 : évaluation 1, proportions des sortes de rayonnement [total : 4 points] :

- Déterminez à partir des mesures isolées utilisant la feuille de papier ainsi que des autres mesures sans la feuille les deux proportions des **taux d'impulsions nets** (rayonnements β & γ en rapport des rayonnements α & β & γ) au début et à la fin de la période de mesure. [2 points]
- Formulez deux affirmations sur le type de désintégration dominant au début et à la fin de la période de mesure à partir des calculs effectués en 3a) et commentez-les à l'aide de la figure 3. [2 points]

Exercice 4 : évaluation 2, diagramme semi-logarithmique [4 points] :

Représentez le **taux d'impulsions net** (rayonnements α & β & γ) en fonction du temps t sur une feuille de papier millimétré semi-logarithmique.

Exercice 5 : évaluation 3, demi-vies résultantes [total : 4 points] :

- Tracez dans le diagramme une courbe de tendance linéaire pour chaque série de points de la période de mesure A et de la période de mesure B et déterminez leur pente. [2 points]
- A partir des pentes des deux courbes de tendance, calculez les demi-vies moyennes qui en résultent pour les périodes de mesure A et B. [2 points]

Exercice 6 : questions conclusives [total : 2 points] :

- a) Après combien de temps, approximativement, peut-on s'attendre à ce que l'activité totale sur la plaque de polystyrène ait chuté au niveau de l'activité de l'environnement ? Justifiez brièvement votre réponse ! [1 point]
- b) Considérez les deux désintégrations $\text{Bi } 214 \rightarrow \text{Po } 214$ et $\text{Po } 214 \rightarrow \text{Pb } 210$. Dans quel rapport se trouvent ces deux activités partielles (mesurées en ipm) l'une par rapport à l'autre ? Justifiez brièvement votre réponse ! [1 point]