

Mesure de la constante de Planck [h]

1 Introduction

A la fin du $XIX^{\text{ème}}$, la physique est dans une impasse. Alors qu'elle semble capable de quasiment tout expliquer, deux questions résistent et semblent ébranler les bases de cette physique classique : le rayonnement du corps noir et la question de l'éther.

En 1900, pour résoudre le problème du corps noir, Planck va devoir introduire une hypothèse contre-intuitive : les échanges d'énergie entre le rayonnement et la matière ne peuvent se faire que d'une manière discontinue. C'est à dire par paquet ("*quanta*" en latin) multiple d'une quantité élémentaire, soit $E = n.h.f$ avec $n \in \mathbb{N}$, f la fréquence du rayonnement et h une constante de proportionnalité qui correspond à la plus petite quantité d'énergie possible. En 1900¹, Planck donne à cette constante la valeur de $h = 6,55.10^{-34} J.s$. Ce moment est aujourd'hui considéré comme celui de la naissance de la mécanique quantique.

En 1905, Einstein va résoudre la question de l'effet photoélectrique en étendant ce raisonnement au rayonnement. Il propose que la lumière elle-même soit constituée de quantum d'énergie, soit des particules que l'on nomme photon. L'énergie d'un photon est alors proportionnelle à la fréquence du rayonnement considéré soit :

Un rayonnement de fréquence f est constitué de photons d'énergie $E_{\text{photon}} = h.f$

Aujourd'hui, la constante de Planck h est l'une des sept constantes fondamentales qui permettent de tout mesurer.



1. Zur Theorie des Gesetzes der Energie Verteilung im normal Spektrum, 1900

L'objectif de ce TP est de mesurer la constante de Planck.

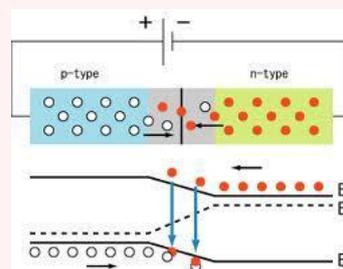
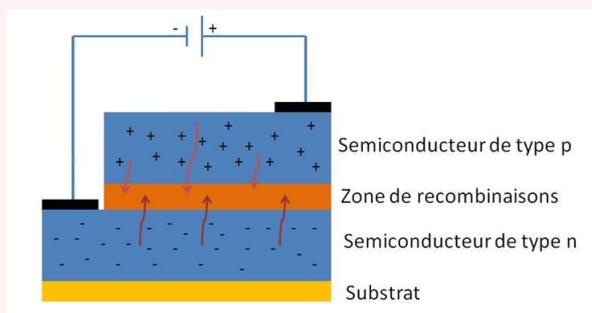
Cela est aujourd'hui possible d'une manière assez simple à l'aide d'un composant électronique moderne qui n'existait pas à l'époque de Planck : la LED (light-emitting diode).

2 Analyse théorique

Fonctionnement d'une LED

Comme toute diode, une LED ne laisse passer le courant que dans un sens. En outre le passage du courant électrique dans la diode est associé à l'émission de lumière. Une diode est constituée de deux zones, l'une possédant un excès d'électrons (zone dopée n), l'autre possédant un déficit d'électrons (zone dopée p) appelés trous. Le passage d'un électron de la zone n à la zone p ne se produit que si cet électron possède une énergie minimale ou énergie de seuil. $E_{seuil} = e \cdot U_{seuil}$ avec e la charge de l'électron et U_{seuil} la tension seuil de la LED²

Lorsque les électrons (qui conduisent le courant du côté dopé n) rencontrent les trous (qui assurent la conduction de l'autre côté) au niveau de la jonction, la recombinaison électron-trou s'accompagne de l'émission d'un photon. L'émission de lumière par une diode électroluminescente est ainsi un phénomène quantique.



Extrait Eduscol.

Quel type de conversion d'énergie la diode effectue-t-elle?

Comment se déroule cette conversion au niveau microscopique?

² La tension de seuil de la LED est la tension à partir de laquelle le courant passe, et à partir de laquelle les photons commencent à être émis.

✎ Quelle est l'expression de l'énergie d'un photon E_{photon} en fonction de la longueur d'onde λ du rayonnement émis par la LED?

L'énergie électrique d'un électron traversant la jonction est reliée à la tension U_{seuil} aux bornes de la diode et a pour expression $E_{electron} = e \cdot U_{seuil}$.

Cette énergie est répartie entre :

- une perte d'énergie ϕ de l'électron à la traversée de la jonction p-n considérée comme commune à toutes les LED
- l'énergie emportée par le photon, E_{photon} .

✎ En déduire la relation mathématique $U_{seuil} = f(\frac{1}{\lambda})$.

✎ Cette relation est une fonction affine du type $y = a \cdot x + b$. Exprimer le coefficient directeur a en fonction de h , c et e .

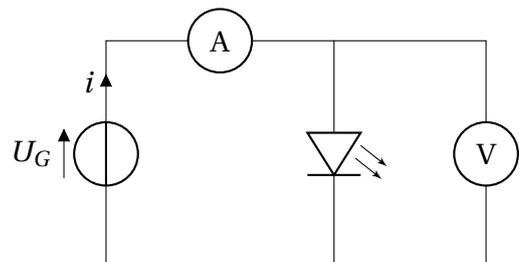
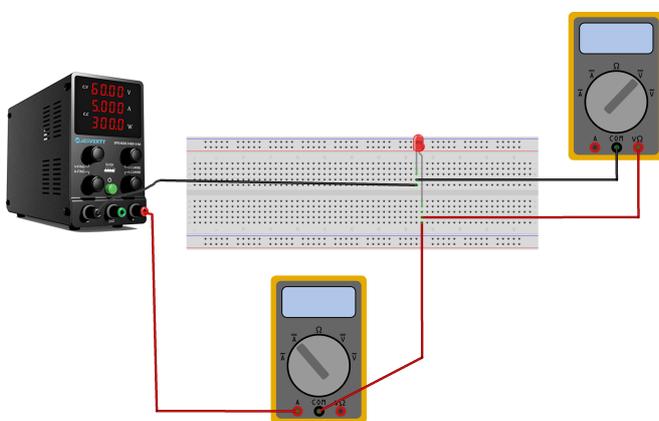
$$a =$$

✎ En déduire l'expression de h en fonction de a , c et e .

$$h =$$

3 Prise de mesures

Réaliser le circuit suivant :



⚠ Avant de commencer les mesures toujours remettre la tension à 0V en tournant le potentiomètre vers la gauche!

- ✎ Pour chacune des LED disponible, déterminer la tension de seuil U_{seuil} . Pour cela augmenter doucement la tension aux bornes de la LED jusqu'à ce que le courant électrique passe. Vérifier lorsque cela est possible que cela correspond bien au début d'émission de la lumière.
- ✎ Remplir le tableau ci dessous.

Données expérimentales			
couleur de la LED	λ (m)	Tension de seuil U_{seuil} (V)	$\frac{1}{\lambda}$ (m^{-1})
	470.10^{-9}		
	505.10^{-9}		
	570.10^{-9}		
	605.10^{-9}		
	655.10^{-9}		
	880.10^{-9}		
	940.10^{-9}		

4 Analyse

- ✎ Réaliser le graphique $U_{seuil} = f(\frac{1}{\lambda})$. **(feuille fournie en annexe)**
- ✎ Effectuer une régression linéaire en traçant la droite passant au plus près des valeurs expérimentales.
- ✎ Déterminer le coefficient directeur de cette droite.

$$a =$$

- ✎ En déduire, à l'aide de l'analyse théorique réalisée précédemment, la valeur de la constante de Planck h .

- ✎ Calculer l'écart relatif³ entre la valeur théorique de la constante de Planck $h_{th} = 6,626.10^{-34} J.s$ et la valeur obtenue expérimentalement h_{exp} .

$$\text{écart relatif} =$$

- ✎ Conclure.

$\Rightarrow h = \dots$

3. écart relatif = $\frac{|h_{th} - h_{exp}|}{h_{th}}$

