

PHY-3004 Physique Expérimentale V

GPH-3003 Travaux Pratique en Génie Biomédical

Expérience de STERN & GERLACH

Versions antérieures : Gabriel Bédard et Bernd Witzel

Les atomes d'un jet atomique de potassium se déplaçant initialement à vitesse constante sont soumis à une force latérale de déflexion lorsqu'ils traversent une région où règne un champ magnétique non uniforme. La force de déflexion magnétique est proportionnelle au gradient du champ magnétique et au moment magnétique de l'atome. Le jet atomique se subdivise alors en un nombre discret de faisceaux répartis symétriquement par rapport à son point d'impact normal en absence de champ. On en conclut que les valeurs possibles de la composante z du moment magnétique de l'atome sont égales $2\hbar$ à $2\hbar$ et de signe opposé. Les orientations du vecteur de moment magnétique de l'atome ne sont donc pas quelconques : seules sont permises certaines orientations particulières. C'est le phénomène de la quantification spatiale.

BUT

Le but de l'expérience est de permettre à l'étudiant(e) de se familiariser avec les techniques expérimentales de production, de déflexion magnétique et de détection de jets atomiques, et de mettre ainsi en évidence le phénomène de la quantification spatiale des moments magnétiques atomiques.

OBJECTIFS

- Déterminer les conditions expérimentales de production et de détection d'un jet atomique de potassium.
- Vérifier la loi de LANGMUIR
- Mesurer la distribution spatiale du jet atomique non-défléchi.
- Mettre en évidence le phénomène de déflexion magnétique d'un jet atomique dans un champ magnétique non uniforme
- Déterminer les conditions optimales d'observation du phénomène de quantification spatiale
- Mesurer la distribution spatiale du jet atomique défléchi.
- Évaluer l'ordre de grandeur du gradient moyen du champ magnétique non uniforme responsable de la déflexion magnétique du jet de potassium.

RÉFÉRENCES

Le phénomène physique

A.P. French & D.F. Taylor, *Introduction to Quantum Physics*, pp. 428-441

B. Cagnac et J.C. Pebay-Peyroula, *Physique atomique, Tome I*, pp. 235-245

Les jets atomiques et moléculaires

K.F. Smith, *Jets atomiques*, pp. 1-19

N.F. Ramsey, *Molecular beams*, pp. 394-401

P. Kusch et al., *Atomic and Molecular Beam Spectroscopy*, Handbuch der Physik XXXVII

AIP Reprints, *Experiments with Molecular Beams*

ELÉMENTS DE THÉORIE

JET ATOMIQUE

Un jet atomique de potassium est formé par vaporisation sous vide de potassium placé dans un four en forme de cavité fermée et percée d'une étroite fente. La distribution $f(v)dv$ des vitesses des atomes de masse M en équilibre thermodynamique dans un four maintenu à température constante T est une distribution de Maxwell-Boltzman

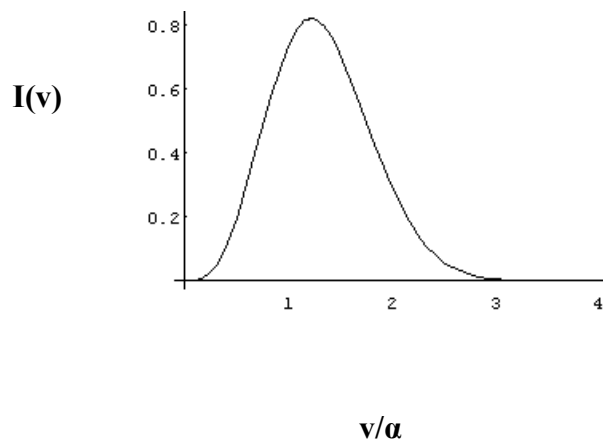
$$f(v)dv = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{v}{\alpha} \right)^2 e^{-\left(\frac{v}{\alpha} \right)^2} d\left(\frac{v}{\alpha} \right)$$

où α est la vitesse la plus probable des atomes dans le four.

$$\alpha = \sqrt{\frac{2k_B T}{M}}$$

Le flux $I(v) dv$ d'un jet d'atomes de masse M issu du four et dont la vitesse est comprise entre v et $v+dv$ est

$$I(v)dv = 2I_0 \left[\frac{v}{\alpha} \right]^3 e^{-\left[\frac{v}{\alpha} \right]^2} dv$$



La vitesse la plus probable des atomes du jet correspond au maximum de $I(v)$

$$v_m = \sqrt{\frac{3k_B T}{M}}$$

LOI DE LANGMUIR

Selon la loi de LANGMUIR, la pression de vapeur d'une substance en équilibre thermodynamique dans un four maintenu à une température T [en degrés K] est donnée par la relation

$$\ln p = A - \frac{\Lambda}{T} = A - \frac{\Phi}{k_B T}$$

Pression de vapeur du potassium

Réf. *Accurate determination of the vapor pressure of potassium using optical absorption B.* Shirinzadeh and Charles C. Wang , Appl. Optics. **22** (1983),3265-3270

Extrait de quelques données [Typiquement pour notre montage $130^\circ\text{C} < T < 160^\circ\text{C}$]

T(°C)	107	127	147	167	187
T[K]	380	400	420	440	460
p[mTorr]	0,0307	0,122	0,426	1,33	3,74

$$\ln p[\text{mTorr}] = 24,14 - \frac{10497}{T[\text{K}]} \quad ; \quad \log p[\text{Pa}] = 9,6089 - \frac{4559}{T[\text{K}]}$$

On en déduit que la constante de LANGMUIR $\Lambda = 10\,497\text{ K}$ et sachant que la constante de BOLTZMAN $k_B = 86,174\text{ }\mu\text{eV/K}$, le paramètre $\Phi = 0,90\text{ eV}$. Le paramètre $A = 24,14$ lorsque la pression est exprimée en **mTorr** et la température en **K**.

L'intensité du jet atomique issu d'une ouverture d'un four à la température T est donné par la relation [*théorie cinétique des gaz*]

$$I = 1,11 \times 10^{22} \frac{a p \cos\theta}{r^2 \sqrt{M T}} \text{ molécules / cm}^2 \text{ s}$$

où p : pression de vapeur dans le four [Torr]
 a : surface de l'orifice de sortie du four [cm²]
 T : température en K
 r : distance mesurée à partir de la sortie du four [cm]

M : poids moléculaire de la molécule

θ : angle entre la direction de r et la normale à la paroi du four. [$\cos \theta \sim 1$]

Il s'ensuit alors que **le signal mesuré par le détecteur** (proportionnel à l'intensité du jet atomique et inversement proportionnel à la racine carrée de la température) suit la loi

$$I(T) = \frac{C}{\sqrt{T}} e^{-\Lambda/T} = \frac{C}{\sqrt{T}} e^{-\phi/k_B T}$$

Un graphique du produit $I(T) \sqrt{T}$ vs $1/T$ permet de vérifier la loi de LANGMUIR et de déterminer les paramètres C , Λ et ϕ par régression exponentielle. Il en serait de même pour un graphique de $\ln [I(T) \sqrt{T}]$ vs $1/T$.

**** Ne pas oublier de soustraire le courant de fond.**

Exemple de calcul de l'intensité du jet atomique [Ref. K.F. Smith, *Jets atomiques* p. 6]

Jet de sodium (Na) P.M. 23

- Fente de sortie du four 2 mm x 0.01 mm
- Distance four-détecteur $r = 100$ cm
- Pression de Na $p = 1$ Torr à $T = 600$ K

Intensité du jet	$I_{JET} \sim 1,8 \times 10^{12}$ molécules / $\text{cm}^2 \text{ s}$
Densité de courant	$J_{JET} \sim 2,9 \times 10^{-7}$ A/ cm^2

Courant capté par un détecteur de 10 mm x 1 mm

$I_D \sim 3$ nA en supposant 100% d'ionisation

...ce qui produirait en 8 minutes une couche de 0,3 ng/ cm^2 d'épaisseur de 0,34 nm sur le filament du détecteur sachant que la densité du Na est $\rho = 0,97$ g/ cm^3]

Ordre de grandeur pour le montage de notre laboratoire

Jet de potassium (K) P.M. 40

- Fente de sortie du four 3,35 mm x 0.25 mm
- Distance four-détecteur $r = 74$ cm
- Pression de K $p = 1$ mTorr à $T = 160^\circ\text{C} = 433$ K

Intensité du jet	$I_{JET} \sim 1,3 \times 10^{11}$ molécules / $\text{cm}^2 \text{ s}$
Densité de courant	$J_{JET} \sim 2,1 \times 10^{-8}$ A/ cm^2

Le détecteur est constitué d'un filament de 1 mm de largeur. La hauteur utile est de l'ordre de la taille du jet soit 5 mm. On détecte des courant de l'ordre de 1 nA. Sur la plage de température de 130°C à 160°C on utilisera les échelles de sensibilité de 0,1 nA à 3 nA du pico-ampèremètre

DÉFLEXION MAGNÉTIQUE

Dans un champ magnétique \mathbf{B} non uniforme, les forces magnétiques \mathbf{F} exercées sur un atome possédant un moment magnétique \mathbf{M} ont une résultante non-nulle qui tend à modifier la trajectoire de l'atome.

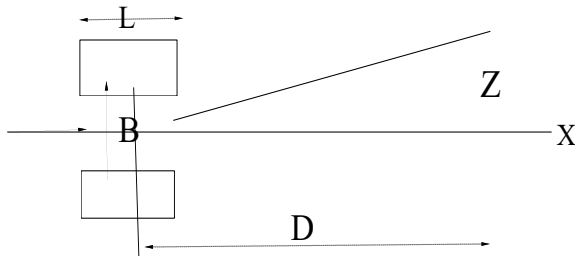
L'énergie d'interaction W entre un moment magnétique \mathbf{M} et un champ magnétique \mathbf{B} est

$$W = - \vec{M} \cdot \vec{B}$$

La force magnétique F résultante dépend des composantes du moment magnétique M de l'atome et du gradient du champ magnétique

$$\vec{F} = - \nabla W = - \nabla \left(- \vec{M} \cdot \vec{B} \right) = \vec{M} \cdot \nabla \vec{B} \quad ; \quad F_z = M_z \frac{\partial B_z}{\partial z}$$

...la dernière relation s'appliquant là où le gradient est selon z .



Le mouvement d'un atome de masse m et de vitesse initiale v traversant la zone de gradient de champ magnétique est décrit par les relations

$$x = v t \quad ; \quad z = \frac{1}{2} \frac{F_z}{m} t^2$$

À l'instant $t = l / v$, l'atome quitte la zone de champ magnétique non uniforme et poursuit son mouvement en ligne droite dévié d'un angle α tel que

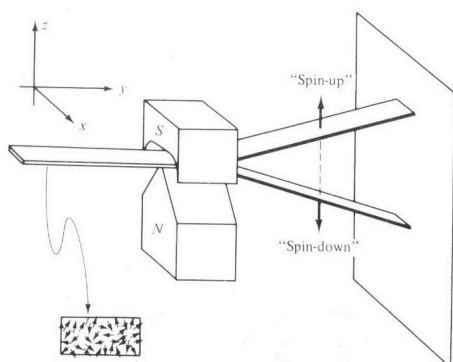
$$\tan \alpha = \frac{dz}{dx} = \frac{F_z t}{m} = \frac{F_z}{m v^2} l$$

Le point d'impact de l'atome sur un écran placé à une distance D du centre de la région de champ magnétique non uniforme est

$$Z = D \tan \alpha = F_z \frac{l D}{m v^2} = M_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \frac{l D}{m v^2}$$

Ainsi, chaque atome d'un jet atomique se déplaçant initialement à vitesse constante est soumis à une force latérale de déflexion lorsqu'il traverse une région où règne un champ magnétique non uniforme. La force de déflexion magnétique est proportionnelle au gradient du champ magnétique et au moment magnétique de l'atome. La mesure du déplacement Z du point d'impact du jet atomique permet donc de mesurer les composantes M_z du moment magnétique et de valider le phénomène de la quantification spatiale.

QUANTIFICATION SPATIALE



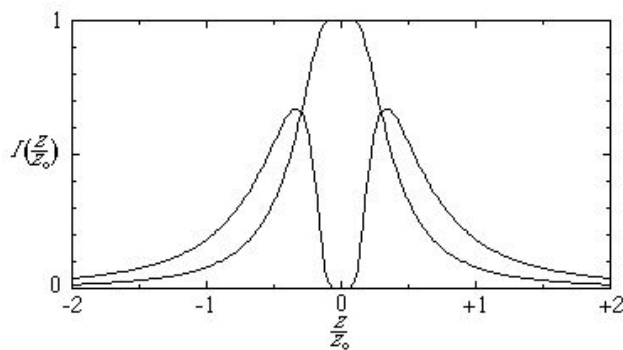
Un faisceau atomique se subdivise en un nombre discret de faisceaux répartis symétriquement par rapport à son point d'impact normal en absence de champ. On en conclut que les valeurs possibles de la composante z du moment magnétique de l'atome sont égales $2L+1$ et de signe opposé. Les orientations du vecteur de moment magnétique de l'atome ne sont donc pas quelconques. Seules sont permises certaines orientations particulières. C'est le phénomène de la quantification spatiale.

LE CAS DU POTASSIUM

L'expérience porte sur l'atome de potassium de configuration électronique $4s_{1/2}$ (le 19^e électron sur la couche externe possède un spin $1/2$) de moment magnétique $\mu_J = -g_J \mu_B$, où μ_B est le magnéton de Bohr et g_J est le facteur de Landé :

$$g_J = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

Ainsi, un jet atomique de potassium traversant une région de champ magnétique non uniforme se subdivisera en deux faisceaux.



Après traversée de la région de champ magnétique non uniforme (de longueur d), les atomes de vitesse v sont déviés de façon telle que leur position s dans un plan situé à une distance D est

$$s = \frac{d}{Mv^2} \left(D + \frac{d}{2} \right) \mu_z \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial z}$$

Les atomes subissent une déflexion inversement proportionnelle au carré de leur vitesse et la distribution $I(s)ds$ des atomes dans le plan de détection est reliée au flux $I(v)dv$ comme suit

$$I(s)ds = -I\left(\frac{v}{v_m}\right) d\left(\frac{v}{v_m}\right)$$

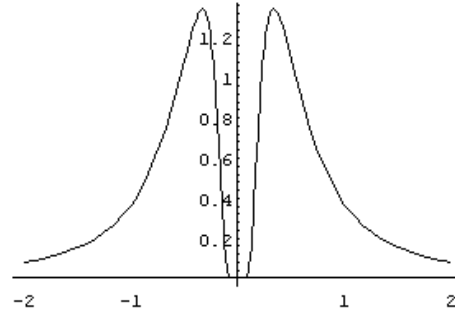
sachant que $ds/s = -2 dv/v$

$$I(s)ds = I_o \left(\frac{s_m}{|s|} \right)^3 e^{-\left(\frac{sm}{|s|}\right)} d\left(\frac{s}{s_m}\right)$$

où s_m est la déflexion des atomes dont le vitesse est la plus probable, v_m

$$s_m = \frac{d}{3k_B T} \left(D + \frac{d}{2} \right) \mu_z \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial z} = \frac{d}{3T} \left(D + \frac{d}{2} \right) \left(\pm \frac{g_s}{2} \right) \frac{\mu_B}{k_B} \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial z}$$

où $g_s = 2$ pour les atomes de potassium et $\mu_B/k_B = 0,724 \text{ K T}^{-1}$.



EXEMPLE DE CALCUL

Déflexion s_m (la plus probable) des atomes dont la vitesse est v_m (la plus probable)

$$s_m = \pm \frac{d}{3T} \left(D + \frac{d}{2} \right) \frac{\mu_B}{k_B} \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial z}$$

Paramètres et constantes :

$$d = 9,5 \text{ cm} = 0,095 \text{ m} \quad D = 46,5 \text{ cm} = 0,465 \text{ m}$$

$$\text{Magnéton de Bohr : } \mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ J T}^{-1} \quad \text{Constante de Boltzman : } k_B = 1,380 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$$\text{Rapport : } \mu_B/k_B = 0,724 \text{ T}^{-1} \text{ K}$$

$$s_m(m) = \frac{0,01173}{T(K)} \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{A}} (Tm^{-1}) \Rightarrow \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{A}} (Tm^{-1}) = 85,25 s_m(m) T(K)$$

Ordre de grandeur du phénomène : Un gradient de champ magnétique de 1 T/cm (soit 100T/m) produirait alors une déflexion $s_m = 2,6 \text{ mm}$ à $T = 175^\circ\text{C} = 448 \text{ K}$ et une déflexion $s_m = 2,8 \text{ mm}$ à $T = 145^\circ\text{C} = 418 \text{ K}$

Les séparations étant de l'ordre du millimètre, il est préférable d'utiliser les relations

$$s_m(mm) = \frac{11,73}{T(K)} \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{A}} (Tm^{-1}) \Rightarrow \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{A}} (Tm^{-1}) = 0,08525 s_m(mm) T(K)$$

INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DU FAISCEAU NON DÉFLÉCHI

L'expression $I(s)$ de la distribution spatiale du jet atomique défléchi (p. 6) ne tient pas compte de celle du jet non défléchi. Soit un jet atomique non défléchi gaussien de largeur à mi-hauteur $2a$

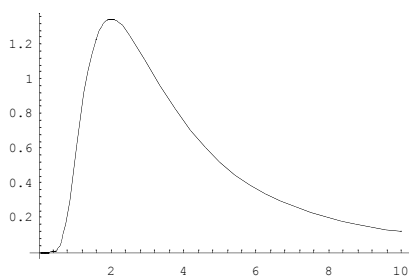
$$g(s) = \frac{1}{w} \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\frac{2s^2}{w^2}} ; \quad w = \frac{2a}{\sqrt{2 \ln 2}} = 0,8493 (2a)$$

La distribution spatiale $I'(s)$ du faisceau défléchi sera obtenue par la convolution de $I(s)$ et $g(s)$

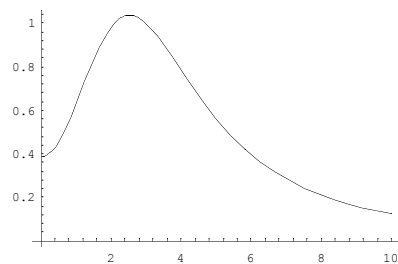
$$I'(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(s-u) g(u) du$$

Le signal mesuré au centre ($s = 0$) n'e sera plus nul. Le creux sera d'autant moins prononcé que le gradient de champ magnétique est faible.

$I(s)$



$I'(s)$



INFLUENCE DE LA LARGEUR DU DÉTECTEUR

Le détecteur à ionisation thermique est constitué d'un fil chauffé de largeur finie $2d$ légèrement inférieure à la largeur à mi-hauteur $2a$ du jet atomique. Soit la fonction

$$h(s) = U(s + d) - U(s - d)$$

où $U(t)$ est la fonction saut de Heaviside et qui se réduit à une fonction $\delta(z)$ si la largeur $d \ll a$.

La distribution spatiale mesurée $I''(s)$ sera alors le résultat de la convolution de $I'(s)$ et $h(s)$

$$I''(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} I'(s-v) h(v) dv = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I'(s-u-v) g(u) h(v) du dv$$

La

distribution $I''(s)$ aura la même forme que $I'(s)$, avec une diminution du creux central qui dépend du rapport d/a .

EXPÉRIMENTATION

ÉQUIPEMENT ET APPAREILS

Appareil à jet moléculaire [four + enceinte sous vide + vacumètres]

Groupe de pompage à diffusion

Électro-aimant profilé produisant un champ non uniforme

Détecteur d'alcalins par thermo-ionisation monté sur un déplacement motorisé

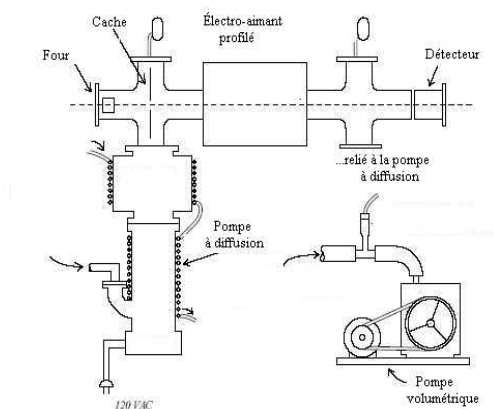
Picoampèremètre KEITHLEY 414A

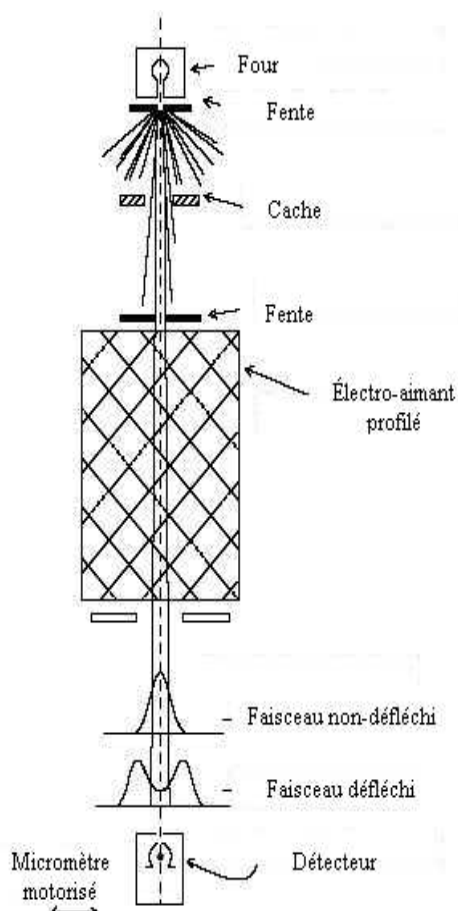
Oscilloscope numérique TEKTRONIX TDS-1002 avec interface TDS2CMA ou TDS2MEM

Imprimante CANON BJC-210

SCHÉMA DU

MONTAGE





- Four (fente 0,25 mm x 3,35 mm)
- Fentes d'entrée et de sortie de l'électro-aimant (largeur = 1 mm)
- Filament : Décteur thermique d'atomes alcalins

Production d'un faisceau atomique de potassium

Les atomes de potassium sont produits dans un four chauffé (100°C à ~ 150°C). La fente étroite (0,25 mm x 3,35 mm) du four produit un faisceau d'ouverture angulaire de quelques dizaines de degrés. La largeur du faisceau est inférieure au mm.

Conditions de vide

Les jets atomiques ne sont réalisables que dans une enceinte où règne un vide poussé, inférieur à $2 \cdot 10^{-5}$ Torr. Le libre parcours moyen des atomes est alors grand par rapport aux dimensions de l'enceinte. La pression du gaz résiduel est mesurée à l'aide d'un vacumètre à cathode froide

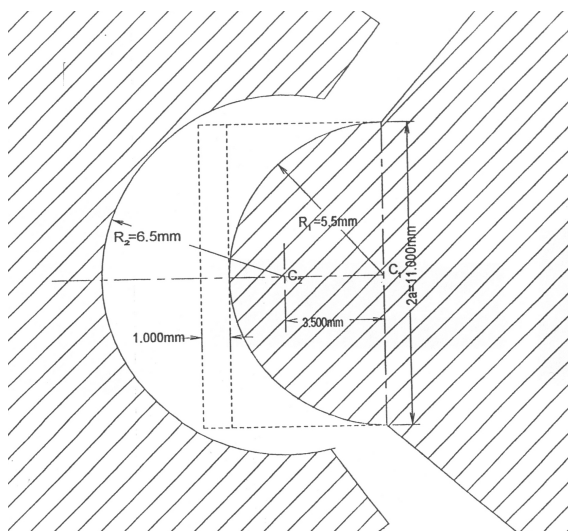
Défecteur magnétique

L'électro-aimant profilé produit un champ magnétique non uniforme qui fait défléchir de leur trajectoire les atomes possédant un spin. Le champ magnétique peut être produit par un électro-aimant dont les pôles ont la forme illustrée ci-après.

Le champ magnétique produit est équivalent à celui de deux fils de longueur infinie placés aux deux intersections des cercles tangents aux pôles et de rayon de courbure R_1 et R_2 des électrodes profilées.

Le champ magnétique moyen le long de l'axe central est donné par la relation

$$B_{\text{moyen}} \sim a \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{A}} \quad \text{où } a \text{ est la moitié de la distance (indiquée sur la figure) entre les 2 fils parallèles qui produiraient un champ magnétique équivalent}$$



Détecteur thermique d'atomes alcalins

Le détecteur d'alcalins est constitué d'un filament de tungstène thorié de 1 mm de largeur, chauffé et entouré d'une cage de Faraday. Au contact du filament, les atomes de potassium s'ionisent et sont attirés par la cage de Faraday maintenue à un potentiel électrique ~ 5 V. Le courant d'ions est alors mesuré à l'aide d'un pico-ampèremètre de grande sensibilité.

MANIPULATIONS

!!! IMPORTANT !!!

COURANT MAXIMUM DE FILAMENT DE DÉTECTION : 3,2 A

COURANT MAXIMUM DE L'ÉLECTRO-AIMANT : 2,0 A

- Manipuler avec soin le dispositif de motorisation de la vis micrométrique.
- Placer manuellement la vis à sa position initiale en désengageant d'abord l'axe du moteur. Un interrupteur arrêtera le moteur en fin de balayage.
- Toujours prendre les mesures dans le même sens de déplacement du détecteur
- Sélectionner la sensibilité optimale du pico-ampèremètre.

PRENEZ NOTE QUE LES VALEURS DE COURANT CITÉES DANS LE TEXTE SONT INDICATIVES ET PEUVENT ÊTRE DIFFÉRENTES SELON LA QUANTITÉ DE POTASSIUM DANS LE FOUR ET L'ÉTAT DU FILAMENT DE DÉTECTION.

DIMENSIONS CARACTÉRISTIQUES DU MONTAGE

- Mesurer la distance entre le four et la fente d'entrée de l'électro-aimant, la longueur des pôles de l'électro-aimant et la distance entre la fente de sortie de l'électro-aimant et le détecteur.

DÉTECTEUR MOTORISÉ

- Le déplacement du détecteur est assuré par un micromètre dont la graduation est en pouces (") et non en cm. La plage de balayage est de l'ordre de 25 mm ($\sim 1"$).
- Se familiariser avec le fonctionnement manuel du micromètre.
- Se familiariser avec son fonctionnement motorisé du micromètre. Des interrupteurs sont placés aux extrémités pour arrêter le moteur automatiquement.
- La vitesse de balayage ne doit être ni trop lente ni trop rapide pour que les profils mesurés soient symétriques [typiquement la plage de balayage de 25 mm est couverte en 90 s]

VÉRIFICATION DE LA LOI DE LANGMUIR

En cours de chauffage, l'augmentation de la température du four fera augmenter l'intensité du jet atomique. Il s'agit de mesurer la variation du signal de détection du jet atomique en fonction de la température, en procédant comme suit :

- LE DÉTECTEUR D'ALCALINS - Placer le curseur du détecteur d'ions à la position 1,05" du micromètre à laquelle on devrait mesurer le pic du faisceau d'ions. Amener le courant du filament du détecteur à 3,0 A. Attendre au moins 5 minutes pour que la température du filament se stabilise. Appliquer une tension de 5V à la cage de Faraday.
 - Se familiariser avec le déplacement du détecteur motorisé
- LE COURANT D'IONS - Sélectionner l'échelle de 0,1 nA du picoampèremètre et la position + du sélecteur. Relier la sortie (0 - 1V) du pico-ampèremètre à l'entrée du CANAL 1 de l'oscilloscope. Sélectionner l'échelle 100mV / div et l'échelle de temps de 50s/div de l'oscilloscope. Positionner le ZÉRO.
- LA TEMPÉRATURE DU FOUR - Relier la sortie (1 mV/°C) du thermomètre numérique à l'entrée du CANAL 2 de l'oscilloscope. Sélectionner l'échelle de sensibilité de 10 mV / div.
- LE COURANT DE FOND - Fermer la cache. Mesurer le courant de fond. Ouvrir la cache.
- LE CHAUFFAGE DU FOUR - Sélectionner un courant de chauffage du four de 4,5 A afin d'élever sa température à environ 140- 150°C.

UN COURANT D'IONS N'EST MESURABLE QU'À PARTIR DE $T \sim 120^\circ\text{C}$.

MESURES À L'OSCILLOSCOPE ET AU PICO-AMPÈREMÈTRE

- Sélectionner l'échelle de temps de 50 s/div
- À tous les 5°C , noter les valeurs de température et de courant d'ions (alternativement, il est possiblement plus simple de lire la température à toutes les bornes majeures de courant sur pico-ampèremètre).
- Lorsque le courant atteigne 0,08 nA : changer d'échelle à 0,3 nA. Continuer à prendre des mesures jusqu'à 0,15 nA.
- ABAISSER LE COURANT DU FOUR À 3,7- 3,8 A. La température finale devrait se situer entre 140 et 150°C selon l'état du filament du détecteur d'ions.
- Noter toutes les conditions expérimentales.

COURANT DE FOND À LA TEMPÉRATURE AMBIANTE

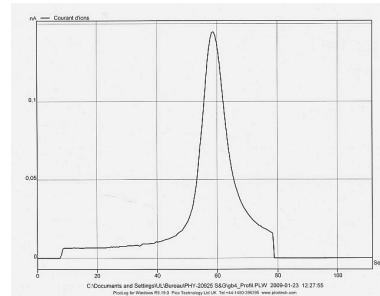
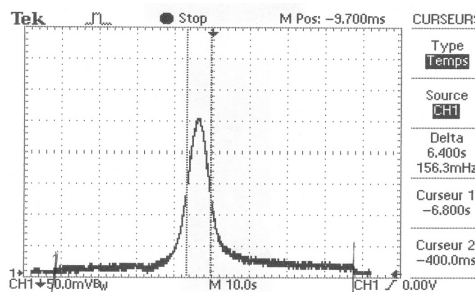
- Relier la sortie du pico-ampèremètre à l'oscilloscope numérique.
- Fermer la cache située près du four.
- Amener le courant de détection du filament $I_D = 2,8 \text{ A}$
- Appliquer une tension de 5V à la cage de Faraday.
- Sélectionner l'échelle de plus grande sensibilité du pico-ampèremètre.
- Régler l'échelle de tension et de temps de l'oscilloscope.
- Démarrer en même temps le moteur et le SCAN de l'oscilloscope et mesurer le profil du courant de fond en effectuant un balayage latéral du détecteur motorisé.
- Imprimer ou sauvegarder une copie d'écran du profil de meilleure qualité que vous aurez obtenu.

DISTRIBUTION SPATIALE DE L'INTENSITÉ DU JET ATOMIQUE NON-DÉFLÉCHI

UTILISATION DE L'OSCILLOSCOPE ET DE L'UNITÉ D'ACQUISITION (ET LOGICIEL PICOLOG)

- Fixer à 2,8 A le courant du filament de détection. ***Si vous devez changer la valeur du courant de chauffage du détecteur, attendez ~ 5 minutes afin que la température du filament se stabilise.***
- Afin de tenir compte du courant de fond, placer à la position ZÉRO le sélecteur du pico-ampèremètre et démarrer le balayage en même temps que le SCAN de l'oscilloscope. Puis sélectionner la position (+) du pico-ampèremètre pour obtenir le courant d'ions. Peu avant la fin du balayage, ramener à la position ZERO le sélecteur du pico-ampèremètre.
- Utiliser les curseur-tension de l'oscilloscope et mesurer le courant d'ions au pic (*SIGNAL*) et le niveau du courant de fond (*BRUIT*). Évaluer le rapport *SIGNAL / BRUIT*.
- Utiliser les curseurs-temps de l'oscilloscope pour déterminer la largeur à mi-hauteur du profil. Effectuer la conversion $\text{sec} \pm \text{mm}$. Imprimer ou prendre une copie d'écran du profil s'il est de bonne qualité, sinon reprendre l'étape précédente en optimisant l'échelle de sensibilité du pico-ampèremètre.

Chaque curseur-temps indique l'intervalle Δt par rapport à la position de la flèche ($t = 0$).
Si on déplace le sommet du pic sous la flèche, les curseurs indiqueront directement les demi-largeurs.

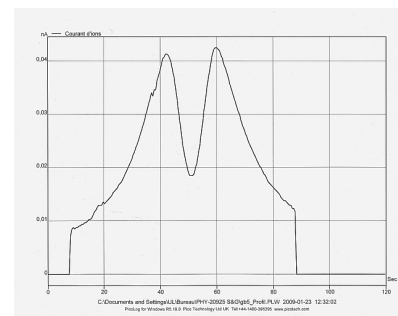
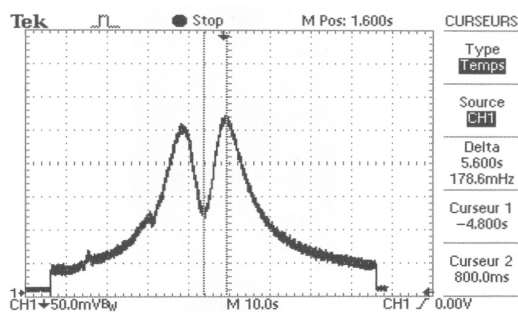


- Afin de mettre en évidence l'influence du courant du filament, reprendre les manipulations pour d'autres valeurs de courant du filament [$I_D = 2,9A, 3,0A, 3,1A, 2,7A$ et $2,6A$]
- Afin de mettre en évidence l'influence de la tension appliquée à la cage de Faraday, caractériser le profil au courant de filament optimal et à des tensions de 7,5 et 10 V
- Dresser un tableau synthèse.

§ DISTRIBUTION SPATIALE DE L'INTENSITÉ DU JET ATOMIQUE DÉFLÉCHI.

UTILISATION DE L'OSCILLOSCOPE ET DE L'UNITÉ D'ACQUISITION (ET LOGICIEL PICOLOG)

- Observer le phénomène de déflexion magnétique du jet atomique à la valeur optimale de courant de détecteur déterminée dans le cas du jet défléchi) et à la valeur optimale de la tension appliquée à la cage de Faraday. Laisser se stabiliser la température du filament pendant 5 minutes.
- **Sélectionner un courant de l'électro-aimant $I_{EA} = 1A$.** Localiser manuellement la position des pics et du creux du profil d'intensité. Optimiser l'échelle de sensibilité du pico-ampèremètre. Mesurer le profil du faisceau défléchi.



- Utiliser les curseurs de l'oscilloscope pour caractériser le profil. Mesurer séparément la position s^+ du pic situé à droite à partir du minimum central et s^- celle du pic situé à gauche.
- *Chaque curseur-temps indique l'intervalle Δt par rapport à la position de la flèche ($t = 0$).* Si on place le creux du profil sous la flèche, les curseurs indiqueront directement positions s^+ et s^-

PHY-3004 Physique expérimentale V (H-11)

- Utiliser les curseurs-tension pour mesurer le rapport signal / bruit.
- **Reprendre les mesures pour des courants de l'électro-aimant $I_{EA} = 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0$.** (si le temps le permet ajouter 0.6, 1.4 et 1.6)

TRAITEMENT DES DONNÉES

VÉRIFICATION DE LA LOI DE LANGMUIR

- Tracer $I(T) \sqrt{T}$ en fonction de $1000/T(K)$. *Ne pas oublier de soustraire le courant de fond.*
- Effectuer une régression exponentielle et déterminer les constantes Λ et φ

§ DISTRIBUTION SPATIALE DE L'INTENSITÉ DU JET ATOMIQUE NON-DÉFLÉCHI

- Dresser un tableau synthèse :

Fig	T	V_{cage} Faraday	$I_{détecteur}$	I_{pic}	I_{fond}	FWHM	Signal / Bruit
#	°C	V	A	nA	nA	mm	

Identifier les conditions expérimentales optimales. Caractériser l'asymétrie du pic.

DISTRIBUTION SPATIALE DE L'INTENSITÉ DU JET ATOMIQUE DÉFLÉCHI

- Vérifier la loi de déflexion magnétique en traçant les écarts s^+ et s^- des pics en fonction du courant de l'électro-aimant. Effectuer une régression linéaire afin d'en déduire la valeur du gradient du champ magnétique défecteur.
- Évaluer en fonction du courant la grandeur du champ magnétique moyen.
- Dresser un tableau synthèse :

T	Fig	$I_{électro-aimant}$	$\partial B / \partial z$	B_{moyen}
°C	#	A	Tesla / cm	Tesla

JET ATOMIQUE

- Évaluer le nombre d'atomes de potassium du jet non-défléchi incident sur le filament On suppose que l'efficacité de détection du filament est de 100% et que le profil est gaussien de largeur totale à mi-hauteur FWHM et d'amplitude $I_{pic} - I_{fond}$. L'aire sous le profil est alors

égale à $1,065 (I_{\text{pic}} - I_{\text{fond}}) \text{ FWHM}$. La charge électrique de l'ion est $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$