Mise au point d'un détecteur d'atomes d'hydrogène d'énergie comprise entre 10 keV et 30 eV

Ali Katrib, Jean-Charles Abbe, Jean-Marie Paulus

► To cite this version:

Ali Katrib, Jean-Charles Abbe, Jean-Marie Paulus. Mise au point d'un détecteur d'atomes d'hydrogène d'énergie comprise entre 10 keV et 30 eV. *Revue de Physique Appliquée*, 1970, 5 (2), pp.269-273. 10.1051/rphysap:0197000502026900 . jpa-00243387

HAL Id: jpa-00243387

<https://hal.science/jpa-00243387>

Submitted on 1 Jan 1970

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MISE AU POINT D'UN DÉTECTEUR D'ATOMES D'HYDROGÈNE D'ÉNERGIE COMPRISE ENTRE 10 keV ET 30 eV

par Ali KATRIB, Jean-Charles ABBE et Jean-Marie PAULUS

Centre de Recherches Nucléaires, Laboratoire de Chimie Nucléaire, B. P. n° 20 CR, 67, Strasbourg 3

(Reçu le 18 mars 1969, révisé le 24 octobre 1969)

Résumé. — Les coefficients d'émission électronique secondaire d'un alliage cuivre-béryllium utilisé dans les multiplicateurs d'électrons sont identiques pour H^+ et H , de même énergie entre 10 keV et 30 eV. Pour un faisceau d'atomes H , obtenu par réactions de transfert de charge, l'étalonnage du multiplicateur est aisé et la sensibilité de la mesure est de quelques centaines d'atomes $cm^{-2} s^{-1}$.

Abstract. — For a given energy, between 10 keV and 30 eV, the secondary-electron yields on copper-beryllium alloys used in electron multipliers are equal for H^+ and H . For a beam of H atoms obtained by charge transfer the calibration of the multiplier is easy and the sensitivity is a few hundreds of atoms $cm^{-2} s^{-1}$.

L'étude des réactions chaudes, c'est-à-dire des réactions se produisant entre des entités d'énergies nettement supérieures aux énergies thermiques, connaît actuellement un essor nouveau grâce à l'emploi des faisceaux atomiques ou moléculaires d'énergie contrôlée. L'un des problèmes technologiques qui se pose est la mesure absolue de flux de particules neutres d'énergie et d'intensité faibles. Divers types de détecteurs ont déjà été utilisés [1]. Nous nous sommes intéressés à la comparaison de l'émission électronique secondaire de la première dynode d'un multiplicateur d'électrons sous l'impact de particules chargées ou neutres (H^+ , H_2^+ , H_3^+ , H , H_2 , H_3).

I. Dispositifs expérimentaux. — *a) GÉNÉRATEURS D'IONS ET DE PARTICULES NEUTRES.* — Les faisceaux ioniques utilisés au cours de ce travail proviennent soit d'un spectromètre de masse Atlas Ch IV, soit d'un accélérateur réalisé au Laboratoire et équipé d'une source d'ions du type duoplasmatron (C. S. F.). Dans les deux cas un secteur magnétique permet de sélectionner l'espèce ionique désirée. Les énergies maximales sont respectivement égales à 3 et 10 keV pour les deux générateurs. Elles peuvent être réduites en modifiant la tension appliquée à la source d'ions ou par le jeu de champs électriques retardateurs après la séparation magnétique. Le faisceau traverse ensuite une chambre N (Fig. 1) contenant du méthane sous une pression de 10^{-3} torr.

Les particules neutres sont obtenues par réactions de transfert de charge sur les molécules de cet hydrocarbure choisi en raison de la valeur élevée de la section efficace σ_{1-0} pour les ions H^+ , H_2^+ et H_3^+ d'énergie inférieure à 10 keV [2, 3, 4]. La pression à l'intérieur

FIG. 1. — Chambre de neutralisation.

de la chambre est mesurée par un micromanomètre à membrane dont la réponse asservit l'ouverture d'une fuite réglable. Ce dispositif stabilise la pression à une valeur prédéterminée à 2×10^{-5} torr près. En aval de N, les ions encore présents dans le faisceau sont éliminés par un champ électrique entre les plaques P_1 et P_2 . Ce montage permet, en ajustant la pression dans N et les potentiels des plaques P_1 et P_2 , de disposer de faisceaux de particules chargées ou neutres dont l'énergie peut être modifiée.

b) LES DÉTECTEURS DE PARTICULES — Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 2. Il comporte deux parties A et B montées sur un support mobile qui permet d'interchanger A et B et de les soumettre successivement à l'impact du faisceau.

FIG. 2. — Assemblage des détecteurs.

Partie A. — Elle comprend :

- une fente F_1 ,
- un repousseur d'électrons secondaires R_1 ,
- un cylindre de Faraday en cuivre (épaisseur des parois 2/100 mm, hauteur 4 cm, diamètre 2 cm). La largeur de la fente d'entrée est de 5 mm.

Les charges collectées dans C_1 sont mesurées par un électromètre à condensateur vibrant. C_1 constitue une chambre à accommodation totale [5] et sa température est déterminée par la variation de la résistance d'une thermistance T_1 , isolée électriquement, mais en contact thermique avec la base du cylindre. Cette résistance est comparée, à l'aide d'un montage en pont, à celle d'une thermistance identique T_2 en contact avec un cylindre C_2 , de mêmes dimensions que C_1 , situé en dehors de la trajectoire du faisceau. L'ensemble est thermorégularisé à 18 °C. Après amplification, le déséquilibre du pont de Wheatstone est enregistré. La réponse est proportionnelle à l'échauffement de C_1 sous l'impact du faisceau. Pour une différence de 1 °C entre C_1 et C_2 la réponse est de 600 mV.

Avec ce montage, il est possible de mesurer :

- l'intensité d'un faisceau,
- l'élévation de température de C_1 provoquée par ce faisceau d'ions ou par un flux de particules neutres.

Partie B. — Elle comprend :

- une fente F_2 identique à F_1 ,
- un repousseur R_2 ,
- un multiplicateur d'électrons ⁽¹⁾ à 17 étages

dont les dynodes sont constituées par un alliage Cu-Be à 2 % de béryllium. La première dynode est au potentiel zéro. La tension maximale appliquée au multiplicateur est de 4 kV.

Ce montage permet :

- la mesure des charges collectées par D_1 et D_2 (position 1 du contacteur),
- la mesure des charges collectées par A_n (position 2 du contacteur),
- le dénombrement, après amplification, des impulsions électroniques reçues par l'anode (position 3 du contacteur) à l'aide d'une échelle de comptage (CRC Echo 10) à seuil variable.

Les coefficients d'émission secondaire dépendent d'un grand nombre de facteurs et en particulier de l'état de la surface de la cible. D'après les renseignements donnés par les constructeurs, les dynodes ont été formées selon le procédé de Rappaport [6]. Ce traitement conduit en principe à la formation d'une couche superficielle de BeO ; d'après les constructeurs des traces de magnésium sont toujours présentes dans la plaque de Cu-Be et MgO se forme également à la surface de la dynode. Le multiplicateur a été utilisé sans traitement supplémentaire ; il a fonctionné sous une pression inférieure à 10^{-5} torr.

II. Résultats. — a) MÉTHODE CALORIMÉTRIQUE.

L'élévation de température de C_1 a été étudiée en fonction de l'énergie, de l'intensité et de la nature du faisceau ionique pour H^+ , H_2^+ et H_3^+ . La constante de temps du détecteur est de 1 mn et la température limite est atteinte en 5 mn. Les résultats sont indiqués sur la figure 3. Quelles que soient les conditions expé-

FIG. 3. — Puissance du faisceau en fonction du déséquilibre du pont de Wheatstone.

⁽¹⁾ Fabriqué par l'Institut für Technische Physik an der E. T. H., Zürich, Abteilung für Industrielle Forschung.

riminales, l'élévation de température est proportionnelle à la puissance du faisceau. On obtient la relation :

$$y = (10,8 \pm 0,5) x$$

où y , puissance du faisceau, est exprimée en μW et x , déséquilibre du pont de Wheatstone, en mV. Cette linéarité entre y et x montre que pour le détecteur utilisé, le coefficient d'accommodation est égal à l'unité. La sensibilité limite est de $10 \mu\text{W}$ ce qui correspond, par exemple, à un faisceau d'intensité 10^{-8} A pour une énergie de 1 keV.

Ce détecteur est utilisable, dans les mêmes conditions, pour la mesure d'un faisceau de particules neutres. Cependant la méthode calorimétrique introduit une erreur systématique sur la mesure du flux de particules neutres par suite de l'hétérogénéité en énergie du faisceau après la traversée de la cible gazeuse. La masse superficielle du méthane contenu dans N est de $6 \times 10^{-9} \text{ g cm}^{-2}$. Dans ces conditions la perte d'énergie moyenne d'un faisceau de protons d'énergie initiale comprise entre 10 keV et 2 keV, évaluée à l'aide de la théorie de Lindhard et al. [7] ou par extrapolation des résultats expérimentaux obtenus à des énergies supérieures à 10 keV [8], est de l'ordre de 10 eV. Ce facteur est négligeable par rapport à la précision de la méthode calorimétrique. Il a été vérifié que le coefficient d'émission électronique pour des particules neutres, dont le flux était mesuré par la méthode calorimétrique, était indépendant de la pression du méthane à l'intérieur de la chambre de neutralisation entre 10^{-4} et 6×10^{-3} torr, ce qui confirme la validité de l'étalonnage effectué.

Nous avons opéré de la façon suivante : on mesure simultanément l'intensité I_+ d'un faisceau ionique d'énergie E et le déséquilibre x_+ qu'il provoque ; on détermine ensuite x_0 pour un faisceau de particules neutres de même énergie. L'« intensité équivalente » est :

$$I_0 = I_+ \frac{x_0}{x_+}$$

c'est-à-dire que le nombre N_0 de particules atteignant le détecteur par seconde est

$$N_0 = \frac{I_+}{e} \frac{x_0}{x_+}.$$

Avec les générateurs utilisés, des mesures absolues de N_0 ne sont possibles que pour des faisceaux atomiques d'énergie supérieure ou égale à 2 keV.

b) MESURE DE L'ÉMISSION ÉLECTRONIQUE SECONDAIRE.

— Le coefficient d'émission électronique secondaire de la première dynode pour des particules chargées ou neutres, γ^+ ou γ^0 , est déterminé à partir de l'intensité I_{D_2} collectée sur la deuxième dynode lorsque l'« intensité » du faisceau incident est connue (position 1 du contacteur). Les variations de γ^+ et γ^0 pour H^+ , H_2^+ et H_3^+ en fonction de l'énergie sont représentées sur

les figures 4, 5 et 6. On observe qu'à énergie égale, entre 2 et 10 keV, les valeurs de γ_{H}^0 et $\gamma_{\text{H}^+}^+$ sont identiques à la précision des mesures près. Par contre $\gamma_{\text{H}_2}^0$ et $\gamma_{\text{H}_3}^0$ sont supérieurs respectivement à $\gamma_{\text{H}_2^+}^+$ et $\gamma_{\text{H}_3^+}^+$.

FIG. 4. — Variations des coefficients d'émission secondaire γ_{H}^0 et $\gamma_{\text{H}^+}^+$ avec l'énergie du faisceau.

FIG. 5. — Variations des coefficients d'émission secondaire $\gamma_{\text{H}_2}^0$ et $\gamma_{\text{H}_2^+}^+$ avec l'énergie du faisceau.

FIG. 6. — Variations des coefficients d'émission secondaire $\gamma_{\text{H}_3}^0$ et $\gamma_{\text{H}_3^+}^+$ avec l'énergie du faisceau.

Dans le cas de H_3^+ , le rapport γ^0/γ^+ est d'autant plus élevé que l'énergie du faisceau est plus importante.

La mesure de γ^0 n'est plus possible lorsque la puissance du faisceau est inférieure à 10 μW . Pour comparer l'émission électronique consécutive à l'impact de particules chargées ou neutres d'énergie inférieure à 2 keV ⁽²⁾, nous avons été amenés à utiliser le rapport M entre le courant collecté à l'anode du multiplicateur et les impulsions dénombrées :

$$M = \frac{I_{An}}{Ne}$$

M peut être mesuré aussi bien pour des particules neutres M^0 que pour des ions M^+ . Nous nous sommes limités à des faisceaux de faible « intensité » de telle sorte que N soit inférieur à 10^6 impulsions par seconde, valeur limite imposée par l'échelle de comptage. M est alors indépendant de l'intensité du faisceau mais varie avec la valeur du seuil d'amplitude. Le bruit de fond du multiplicateur est de 50, 20 et 10 impulsions par seconde pour des seuils respectivement égaux à 100, 200 et 300 mV. Dans des conditions de mesures identiques, M^0 et M^+ décroissent avec l'énergie du faisceau comme le montre la figure 7 tracée pour H_2^+ .

FIG. 7. — Variations de $M_{H_2}^0$ et $M_{H_2^+}^+$ avec l'énergie du faisceau.

Les variations de M^0/M^+ en fonction de l'énergie pour différentes valeurs du seuil des amplitudes dénombrées pour H^+ et H_3^+ sont représentées sur les figures 8 et 9.

Quelles que soient les conditions expérimentales et pour des énergies comprises entre 3 000 et 30 eV, on a :

$$M_H^0 = M_{H^+}^+.$$

(2) Aux faibles énergies le processus de ralentissement est dû principalement à des collisions nucléaires [7] qui donnent lieu à une diffusion notable de la particule incidente. Avec la géométrie de la chambre de neutralisation utilisée, seules les particules neutres non diffusées peuvent être transmises et les dispersions en énergie des projectiles avant ou après la chambre de neutralisation devraient être identiques. Cette hypothèse n'a pas pu être vérifiée expérimentalement et les énergies des faisceaux de particules neutres, indiquées dans ce mémoire, seront celles des faisceaux ioniques correspondants.

FIG. 8. — Variation du rapport $M_H^0/M_{H^+}^+$ avec l'énergie du faisceau pour différents seuils de l'échelle.

FIG. 9. — Variation du rapport $M_{H_3}^0/M_{H_3^+}^+$ avec l'énergie du faisceau pour différents seuils de l'échelle.

Si $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ représentent les fractions des particules qui provoquent l'émission de 0, 1, 2, ..., n électrons, il est possible de calculer :

— le coefficient d'émission secondaire

$$\gamma = a_1 + 2a_2 + \dots + na_n = \sum_{i=1}^n ia_i$$

— le gain du multiplicateur

$$G = g\gamma,$$

g représentant le coefficient de multiplication entre la deuxième dynode et l'anode,

— le nombre d'impulsions par particule incidente

$$N = 1 - a_0 = a_1 + a_2 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

— le coefficient M

$$M = \frac{I_A}{Ne} = g \frac{\sum_{i=1}^n ia_i}{\sum_{i=1}^n a_i}.$$

Comme g est indépendant de la particule incidente et que $M_H^0 \equiv M_{H^+}^+$ pour toutes valeurs de E , il en résulte que

$$\frac{\sum_{i=1}^n ia_i^0}{\sum_{i=1}^n a_i^0} \equiv \frac{\sum_{i=1}^n ia_i^+}{\sum_{i=1}^n a_i^+} = f(E) \quad (1)$$

$f(E)$ étant une fonction croissante de E , on en déduit que a_n^0 et a_n^+ ($n \geq 2$) ne sont pas négligeables. L'identité (1) entraîne par conséquent l'identité $a_i^0 \equiv ka_i^+$ quel que soit i et pour toute valeur de E , k étant une constante indépendante de E et de i . Il s'ensuit que

$$G_H^0 \equiv kG_{H^+}^+.$$

Or la mesure directe des coefficients d'émission électronique secondaire entre 2 et 10 keV conduit à

$$\frac{\gamma_H^0}{\gamma_{H^+}^+} = 1 \pm 0,2$$

et donc $k = 1 \pm 0,2$.

Chambers [9] a relevé un comportement analogue pour H^+ et H et une cible Cu-Be. Entre 9 et 60 keV il obtient

$$\frac{\gamma_H^0}{\gamma_{H^+}^+} = 1,11 + 0,001 E \quad E \text{ en keV}$$

Bethge et Lexa [10] ont comparé l'émission électronique secondaire de Ag, Ta, Au, W, Ag-Mg et Cu-Be sous l'impact de Li^+ et Li . Entre 20 et 60 keV les résultats enregistrés conduisent dans tous les cas à la relation

$$\frac{\gamma^0}{\gamma^+} = 1,1 \pm 10 \, \%.$$

Ce résultat montre que pour les espèces considérées l'émission potentielle est négligeable par rapport à l'émission cinétique.

Les conclusions des résultats concernant les faisceaux de particules diatomiques ou triatomiques sont plus incertaines. Pour des énergies supérieures à 2 keV, $\gamma^0 > \gamma^+$ et M^0/M^+ dépend du seuil d'amplitude de

l'échelle de comptage. Ceci peut s'interpréter en supposant que lors de la réaction de transfert de charge, H_2^+ et H_3^+ se fragmentent :

Si la vitesse des fragments est égale à celle de l'ion incident on obtiendrait d'après (3) $\gamma_{H_3} = 3 \gamma_H$ et d'après (2) $\gamma_{H_3} = \gamma_{H_2} + \gamma_H$. Les résultats enregistrés sont en faveur de (3). Cette fragmentation a déjà été mise en évidence [11, 12].

III. Conclusion. — La mesure de l'émission électronique secondaire permet de déterminer avec une sensibilité très élevée un flux d'atomes H d'énergie supérieure à 30 eV. Dans le cas de l'alliage Cu-Be, $\gamma_{H^+}^+$ et γ_H^0 sont égaux à la précision des mesures près. Pour un faisceau atomique obtenu par réactions de transfert de charge, l'étalonnage du détecteur s'effectue par l'intermédiaire du faisceau ionique correspondant. L'adjonction d'un multiplicateur d'électrons permet d'atteindre une sensibilité de quelques centaines de particules $cm^{-2} s^{-1}$. En effet, en dénombrant les impulsions à l'anode du multiplicateur, les efficacités de détection de H^+ ou H sont de l'ordre de 10 % à 100 eV et de 1 % à 30 eV. Ces efficacités évoluent avec le « vieillissement » du multiplicateur et des étalonnages fréquents sont indispensables.

Remerciements. — Les auteurs remercient R. Bon-tems et R. Keller qui ont assuré le bon fonctionnement des générateurs d'ions et collaboré à la réalisation des dispositifs expérimentaux.

Bibliographie

- [1] LEW (H.), in *Methods of Experimental Physics*, éd. V. W. Hughes et H. L. Schultz, Academic Press, New York and London, 1967, **4 A**, 390.
- [2] SIMONS (J. H.) et FRYBURG (G. C.), *J. Chem. Phys.*, 1945, **13**, 216.
- [3] LINDHOLM (E.), *Z. Naturforschg.*, 1954, **9 a**, 535.
- [4] ABBE (J. Ch.), Thèse, Univ. Strasbourg, 1967.
- [5] DEVIENNE (F. M.), *Entropie*, 1967, **18**, 25.
- [6] RAPPAPORT (P.), *J. Appl. Phys.*, 1954, **25**, 288.
- [7] LINDHARD (J.), SCHARFF (M.) et SCHIOTT (H. E.), *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk*, 1963, **33**, n° 14.
- [8] WHALING (W.), *Handbuch der Physik*, Ed. S. Flugge, Springer Verlag, Berlin, 1958, XXXIV, 193.
- [9] CHAMBERS (E. S.), *Phys. Rev.*, 1964, **133 A**, 1202.
- [10] BETHGE (K.) et LEXA (P.), *Brit. J. Appl. Phys.*, 1966, **17**, 181.
- [11] MCCLURE (G. W.), VI^e Conférence internationale sur les phénomènes d'ionisation dans les gaz, Ed. P. Hubert et C. Crémieu Alcan, Paris, 8-13 juillet 1963, **I**, 55.
- [12] BARNETT (C. F.), MOZELLE RAKIN et RAY (J. A.), *ibid.*, **I**, 63.