



ECOLE
POLYTECHNIQUE
DE BRUXELLES

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

SYNTHÈSE

Métrieologie nucléaire PHYS-H-407

Auteur :
Nicolas ENGLEBERT

Professeur :
Nicolas PAULY

Année 2016 - 2017

Appel à contribution

Synthèse Open Source



Ce document est grandement inspiré de l'excellent cours donné par Nicolas PAULY à l'EPB (École Polytechnique de Bruxelles), faculté de l'ULB (Université Libre de Bruxelles). Il est écrit par les auteurs susnommés avec l'aide de tous les autres étudiants et votre aide est la bienvenue ! En effet, il y a toujours moyen de l'améliorer surtout

que si le cours change, la synthèse doit être changée en conséquence. On peut retrouver le code source à l'adresse suivante

<https://github.com/nenglebert/Syntheses>

Pour contribuer à cette synthèse, il vous suffira de créer un compte sur *Github.com*. De légères modifications (petites coquilles, orthographe, ...) peuvent directement être faites sur le site ! Vous avez vu une petite faute ? Si oui, la corriger de cette façon ne prendra que quelques secondes, une bonne raison de le faire !

Pour de plus longues modifications, il est intéressant de disposer des fichiers : il vous faudra pour cela installer \LaTeX , mais aussi *git*. Si cela pose problème, nous sommes évidemment ouverts à des contributeurs envoyant leur changement par mail ou n'importe quel autre moyen.

Le lien donné ci-dessus contient aussi un README contenant de plus amples informations, vous êtes invités à le lire si vous voulez faire avancer ce projet !

Licence Creative Commons

Le contenu de ce document est sous la licence Creative Commons : *Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*. Celle-ci vous autorise à l'exploiter pleinement, compte- tenu de trois choses :



1. *Attribution* ; si vous utilisez/modifiez ce document vous devez signaler le(s) nom(s) de(s) auteur(s).
2. *Non Commercial* ; interdiction de tirer un profit commercial de l'œuvre sans autorisation de l'auteur
3. *Share alike* ; partage de l'œuvre, avec obligation de rediffuser selon la même licence ou une licence similaire

Si vous voulez en savoir plus sur cette licence :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Merci !

Table des matières

1	Ionisation et excitations	1
1.1	Introduction	1
1.2	Ionisation dans les gaz	1
1.2.1	Détermination de W	1
1.2.2	Mélange de gaz	2
1.3	Ionisation dans les solides	2
1.4	Facteur de Fano	2

Chapitre 1

Ionisation et excitations

1.1 Introduction

Les ionisations produites par des particules chargées jouent un rôle fondamental dans le principe de détection. Dans les solides et les gaz on produira une paire d'électrons et d'ions positif suite à l'ionisation d'atomes tandis que dans certains solides on créera une paire électron-trou. Dans les deux cas, on parlera de **paires d'ions**.

Les électrons et ions créés par la particule chargée incidente sont les ionisations primaires mais si ces électrons ont assez d'énergies ils peuvent aussi ioniser et causer des ionisations secondaires.

1.2 Ionisation dans les gaz

L'énergie perdue par la particule chargée traversant un gaz est répartie entre deux types d'interaction

1. *L'ionisation* : un ou plusieurs électrons sont arrachés de l'atome
2. *L'excitation* : l'atome est amené dans un état excité sans création d'une paire d'ions

Même si $\sigma_i > \sigma_{ex}$, le processus d'excitation domine le plus souvent car les collisions avec faible transfert d'énergie sont les plus probables et l'énergie d'ionisation est supérieure à l'énergie d'excitation.

1.2.1 Détermination de W

L'énergie moyenne W déposée par paire ion-électron formée est donnée par (c'est la valeur importante)

$$W = \frac{E_{abs}}{N_i} \quad (1.1)$$

où E_{abs} est l'énergie perdue par la particule incidente et N_i le nombre de paires formées sur l'ensemble de la trajectoire de la particule. Si la particule incidente est stoppée dans le milieu, $E_{abs} = E$. Nous avons aussi que $W > E_i$ car une partie de l'énergie est perdue via les excitations.

Il est très hasardeux de se lancer dans le calcul précis de W car si la section efficace considérée est fausse, le calcul le sera aussi. Et comme l'expression de la section efficace est méconnue... Il va donc falloir ruser. Si la particule chargée est totalement stoppée dans le gaz

$$E = N_i \langle E_i \rangle + N_{ex} \langle E_{ex} \rangle + N_i \langle \epsilon \rangle \quad (1.2)$$

où N_i est le nombre de paires produites, N_{ex} le nombre d'excitation produites, E_i l'énergie d'ionisation, E_{ex} l'énergie moyenne pour créer une excitation et ϵ , l'énergie moyenne des électrons dont l'énergie est inférieure à l'énergie d'excitation (électrons de sous-excitation).

Les électrons de sous-excitation sont les électrons dont l'énergie est insuffisante que pour produire des atomes excités (et donc aussi des ionisations). Ils sont importants car c'est eux qui sont mesurés en constituant le courant d'ionisation. Leur nombre correspond au nombre d'ions et donc au nombre de paires (N_i) par conservation de la charge électrique totale. En effet, tôt ou tard, après avoir perdu plus ou moins d'énergie, un électron deviendra un électron de sous-excitation car l'énergie d'un électron ne peut pas arriver à zéro.

Dans l'expression de W , tous les termes dépendent de E . Cependant, si $E \gg I$, cette dépendance est faible. Peu de calculs théoriques ont été fait à part pour l'hélium. En général, W est déterminé expérimentalement (pour un gaz, $W \approx 30$ eV).

1.2.2 Mélange de gaz

Ajouter une faible quantité de certains gaz à un gaz noble augmente fortement le nombre d'ionisations créées. Cet effet a tendance à se produire aux faibles concentration de gaz ajouté et est d'autant plus important que le potentiel d'ionisation du gaz ajouté est petit par rapport à l'énergie de liaison des premiers états excités du gaz noble. La collision d'un atome excité du gaz noble avec une molécule ajoutée peut conduire à l'ionisation de celle-ci. On utilise donc toujours des mélanges de gaz en pratique, l'idée c'est vraiment que cela permet d'augmenter W .

1.3 Ionisation dans les solides

Dans les semi-conducteurs, il se forme une paire électron-trou. L'énergie pour former cette paire est bien plus faible que pour les gaz : elle correspond au gap, de l'ordre d'1 eV. Le processus d'excitation cause ici la création de phonons d'une énergie approximativement 0.04 eV (60% de l'énergie déposée donne lieu à l'excitation de phonons). Le facteur de production de paire entre un SC et un gaz est d'à peu près 10. On constate que $W > E_g$ mais que W/E_g est à peu près constant pour tous les SC.

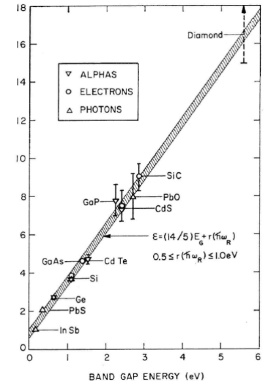


FIGURE 1.1

1.3.1 Fluctuation du nombre d'ionisation

La fluctuation du nombre d'ionisation étant importante (limite la précision de la mesure de l'énergie à partir de N_i), il faut connaître la statistique de N_i . On sait que sa valeur moyenne vaut $N_i = E/W$. La variance σ_i^2 caractérise ces fluctuations. Considérons deux cas extrêmes

1. Le nombre d'ionisation obéit à une loi de POISSON : la variance est la moyenne $\sigma_i^2 = N_i$.
2. Une fraction fixe de l'énergie de la particule est convertie en ionisations : c'est parfait, il n'y a pas d'oscillation $\sigma_i^2 = 0$.

La réalité se situe bien évidemment entre les deux (toutes les créations de paires ne sont pas indépendantes)

$$\sigma_i^2 = F N_i \quad (1.3)$$

où F est le facteur de FANO tel que $0 < F < 1$.

1.4 Facteur de Fano

Ce facteur F contient toutes les différences entre la réalité et la statistique de POISSON. Il dépend de manière détaillée de la succession des événements conduisant à la création de paires mais c'est quasiment impossible de le déterminer théoriquement : il est **toujours** obtenu expérimentalement.