

## Mise en évidence de rayons X avec une chambre d'ionisation

### Objectifs expérimentaux

- Mise en évidence de rayons X avec une chambre d'ionisation remplie d'air et mesure du courant d'ionisation  $I_C$ .
- Etude de l'influence de la tension du condensateur  $U_C$  sur le courant d'ionisation  $I_C$  et mise en évidence de la caractéristique de saturation.
- Etude de l'influence du courant d'émission  $I$  du tube à rayons X sur le courant d'ionisation de saturation pour une haute tension  $U$  du tube constante
- Etude de l'influence de la haute tension  $U$  du tube sur le courant d'ionisation de saturation pour un courant d'émission  $I$  constant.

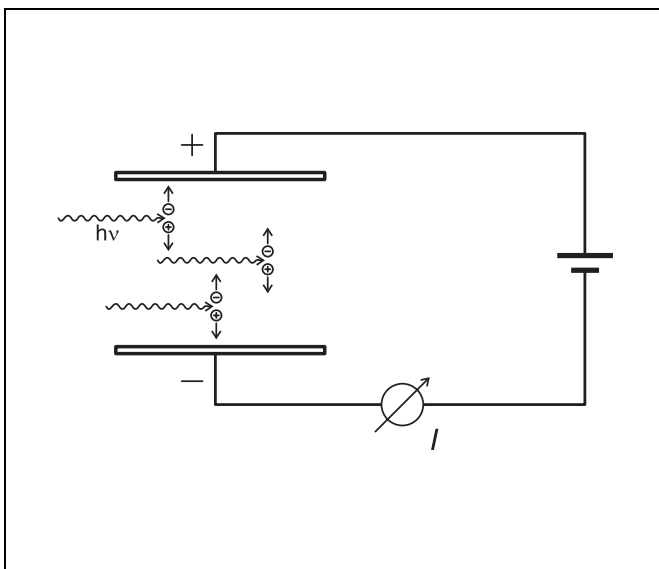
### Notions de base

Les rayons X peuvent être mis en évidence grâce à leurs propriétés. C'est ainsi par exemple, qu'un film est noirci par des rayons X, que l'air et d'autres gaz deviennent électriquement conducteurs, que l'on observe l'effet photoélectrique sur des surfaces métalliques, que certaines substances dites fluorescentes présentent des phénomènes de luminescence. C'est l'ionisation des atomes ou des molécules dans la matière irradiée qui occasionne de tels phénomènes.

On profite de l'action ionisante pour la mise en évidence quantitative des rayons X en mesurant par ex. le courant d'ionisation dans un condensateur à plaques rempli d'air ou d'un autre gaz. Du fait de sa structure spatiale et de sa fonction, ce dispositif est aussi caractérisé de chambre d'ionisation.

Pour la mise en évidence des rayons X, un faisceau de rayons X pénètre, après son passage à travers un diaphragme, dans un condensateur à plaques, de manière à ne pas incider directement sur les plaques du condensateur. On évite ainsi que les résultats des mesures soient faussés par effet photoélectrique sur les plaques du condensateur. Les rayons X ionisent une partie du volume gazeux du condensateur. Si on applique une tension  $U_C$  sur le condensateur, les porteurs de charges, électrons ou ions, sont recueillis sur les plaques du condensateur. Un courant d'ionisation  $I_C$  dans le circuit électrique extérieur susceptible d'être mesuré via un amplificateur de mesure correspond au courant ainsi généré dans le condensateur.

Pour de basses tensions  $U_C$ , il y a toujours de moins en moins de porteurs de charges dans le volume de gaz qui se recombinent avec des valeurs croissantes de  $U_C$  et toujours de plus en plus de porteurs de charges sur les plaques du condensateur. Le courant d'ionisation  $I_C$  augmente par conséquent au fur et à mesure que la tension  $U_C$  augmente. Pour une nouvelle augmentation de  $U_C$ ,  $I_C$  finit par atteindre une valeur de saturation étant donné que tous les porteurs de charges formés par le rayonnement incident pour une unité de temps sont saisis, à l'exception des pertes par recombinaison qui sont négligeables. Il est possible de déduire l'intensité du rayonnement X incident de cette valeur de saturation.



**Matériel**

1 appareil à rayons X . . . . .	554 811
ou	
1 appareil à rayons X . . . . .	554 812
1 condensateur à plaques X-ray . . . . .	554 840
1 alimentation 450 V- . . . . .	522 27
1 amplificateur électromètre . . . . .	532 14
1 résistance STE, 1 G $\Omega$ , 0,5 W . . . . .	577 02
1 voltmètre, CC, U $\leq$ 300 V, Résistance d'entrée 10 M $\Omega$ . . . . . par ex.	531 100
1 voltmètre, CC, U $\leq$ 10 V . . . . . par ex.	531 100
1 câble de mesure BNC/4 mm . . . . .	575 24
Câbles d'expérience	

- Soulever le condensateur à plaques dans la partie expérimentation de l'appareil à rayons X et insérer les pieds enfichables dans les douilles de fixation. S'assurer que les plaques du condensateur sont bien parallèles à la plaque de base de l'appareil à rayons X, et si nécessaire, les réajuster.
- Faire passer les deux câbles dans le canal vide jusqu'à ce qu'ils ressortent sur la droite de l'appareil à rayons X.

**Montage électrique:**

- Brancher le câble d'expérience au pôle positif de l'alimentation 450 V- et le câble de mesure BNC/ 4 mm à l'amplificateur électromètre équipé de la résistance 1 G $\Omega$ .
- Relier le raccord de mise à la masse de l'amplificateur électromètre au pôle négatif de l'alimentation 450 V-.
- Brancher respectivement un voltmètre pour la mesure de la tension du condensateur  $U_C$  et pour la mesure de la tension de sortie de l'amplificateur électromètre  $U_E$ .
- Brancher l'appareil à rayons X au réseau d'alimentation puis le mettre en route

**Montage**

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1. La fig. 2 montre le câblage électrique du condensateur à plaques et de l'amplificateur électromètre pour la détermination du courant d'ionisation.

**Montage mécanique:**

- Eventuellement démonter le collimateur de l'appareil à rayons X et enlever les dispositifs expérimentaux de la partie expérimentation de l'appareil à rayons X.
- Brancher le câble de mesure BNC/4 mm avec fiche BNC à la plaque inférieure du condensateur (douille BNC) et le câble d'expérience à la plaque supérieure du condensateur (douille de sécurité) du condensateur à plaques X-ray.

**Conseils de sécurité**

L'appareil à rayons X (554 811 ou 554812) respecte les consignes relatives à la construction d'un appareillage à rayons X pour l'enseignement et d'un appareil à protection totale et est homologué en tant que tel (d'après le règlement allemand sur les rayonnements X).

Grâce aux mesures de protection et de blindage incorporées par le constructeur, le taux de dose hors de l'appareil est réduit à moins de 1  $\mu$ Sv/h, une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

- Avant la mise en service, s'assurer du bon état de l'appareil à rayons X et vérifier que la haute tension soit bien coupée à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
- Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter une surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

- A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier si le ventilateur dans la partie tube fonctionne.

**Réalisation****a) Courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la tension du condensateur  $U_C$ :**

- Régler un courant d'émission  $I = 1,0$  mA.
- Sélectionner une haute tension du tube  $U = 15$  kV puis enclencher la haute tension avec le bouton-poussoir HV on/off.
- Pour le relevé d'une série de mesures, augmenter pas à pas la tension du condensateur  $U_C$  de 0 V à 300 V et déterminer à chaque fois le courant d'ionisation  $I_C$  à partir de la tension  $U_E$  à la sortie de l'amplificateur électromètre:

$$I_C = \frac{U_E}{1 \text{ G}\Omega}$$

- Etablir un protocole des résultats de mesure.
- Augmenter la haute tension  $U$  du tube par pas de 5 kV jusqu'à 35 kV, répéter à chaque fois la série de mesures et réaliser un protocole des résultats de mesure (voir tab. 1).

**b) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction du courant d'émission  $I$ :**

- Régler une haute tension du tube  $U = 35$  kV.
- Sélectionner la tension du condensateur  $U_C \geq 140$  V de manière à ce que la valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  soit atteinte (cf. valeurs mesurées en a)).
- Augmenter pas à pas le courant d'émission  $I$  de 0 mA à 1 mA puis déterminer le courant d'ionisation  $I_C$  correspondant.
- Etablir un protocole des résultats de mesure.

**c) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction de la haute tension du tube  $U$ :**

- Régler un courant d'émission  $I = 1,0$  mA.
- Sélectionner une tension du condensateur  $U_C \geq 140$  V.
- Augmenter pas à pas la haute tension  $U$  du tube de 5 kV à 35 kV puis déterminer le courant d'ionisation  $I_C$  correspondant.
- Etablir un protocole des résultats de mesure.

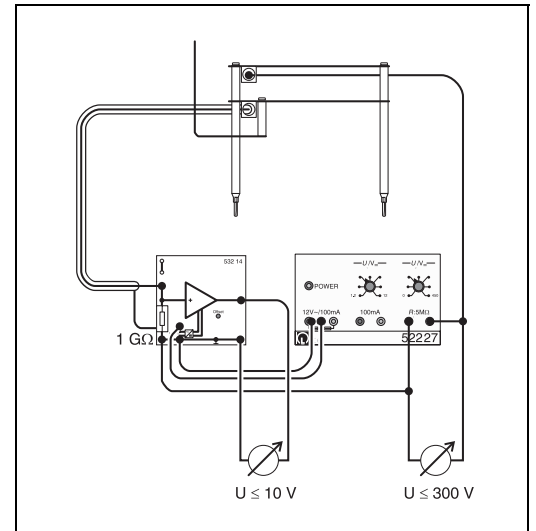
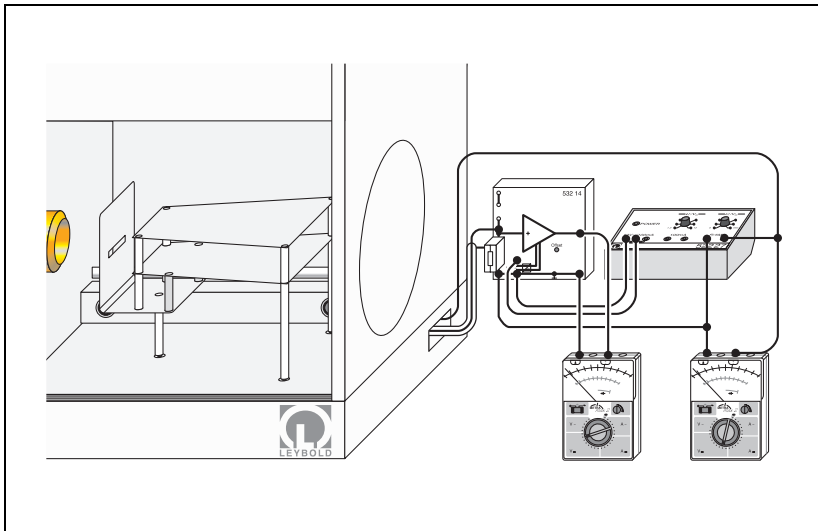


Fig. 1 Montage expérimental pour la mesure du courant d'ionisation dans un condensateur à plaques

Fig. 2 Câblage du condensateur à plaques et de l'amplificateur électromètre pour la détermination du courant d'ionisation

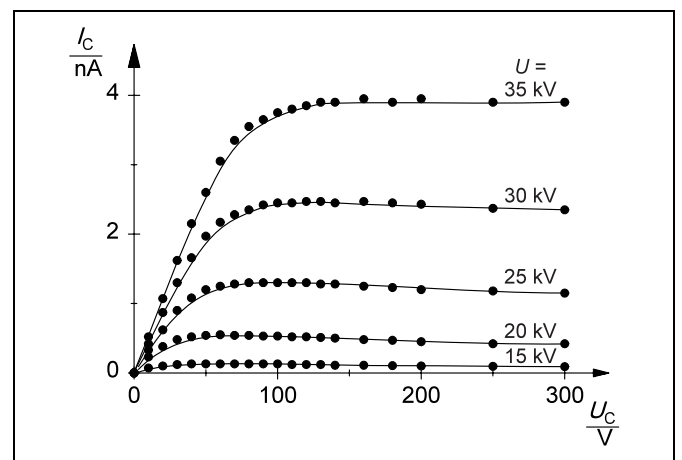
**Exemple de mesure**

a) Courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la tension du condensateur  $U_C$ :

Tab. 1: Courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la tension du condensateur  $U_C$ , hautes tensions du tube  $U_1 = 15$  kV,  $U_2 = 20$  kV,  $U_3 = 25$  kV,  $U_4 = 30$  kV et  $U_5 = 35$  kV, courant d'émission  $I = 1,0$  mA

$U_C$ V	$I_C(U_1)$ nA	$I_C(U_2)$ nA	$I_C(U_3)$ nA	$I_C(U_4)$ nA	$I_C(U_5)$ nA
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,07	0,23	0,33	0,42	0,52
20	0,10	0,38	0,62	0,87	1,07
30	0,12	0,48	0,90	1,30	1,62
40	0,13	0,52	1,08	1,66	2,15
50	0,13	0,54	1,20	1,97	2,60
60	0,13	0,55	1,25	2,17	3,05
70	0,13	0,54	1,28	2,28	3,35
80	0,13	0,54	1,30	2,35	3,55
90	0,13	0,53	1,30	2,42	3,65
100	0,13	0,53	1,30	2,45	3,75
110	0,12	0,52	1,30	2,45	3,80
120	0,12	0,52	1,30	2,47	3,85
130	0,12	0,51	1,28	2,47	3,90
140	0,11	0,50	1,28	2,45	3,90
160	0,11	0,48	1,25	2,47	3,95
180	0,11	0,47	1,23	2,45	3,90
200	0,10	0,45	1,20	2,43	3,95
250	0,095	0,42	1,18	2,37	3,90
300	0,090	0,42	1,15	2,35	3,90

Fig. 3 Courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la tension du condensateur  $U_C$



**b) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction du courant d'émission  $I$ :**

Tab. 2: Valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  en fonction du courant d'émission  $I$  du tube à rayons X, haute tension du tube  $U = 35$  kV

$\frac{I}{\text{mA}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$	$\frac{I}{\text{mA}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$
0,0	0,02	0,5	2,10
0,1	0,48	0,6	2,45
0,2	0,92	0,7	2,80
0,3	1,30	0,8	3,20
0,4	1,72	0,9	3,55
		1,0	3,90

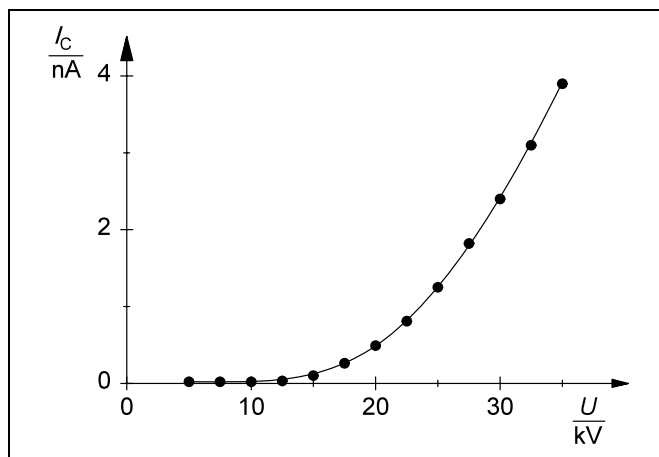


Fig. 5 Valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la haute tension  $U$  du tube

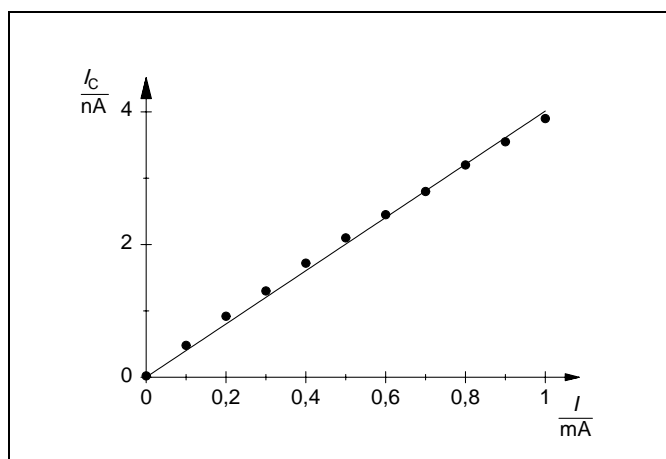


Fig. 4 Valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  en fonction du courant d'émission  $I$  du tube à rayons X

**c) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction de la haute tension  $U$  du tube:**

Tab. 3: Valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la haute tension  $U$  du tube, courant d'émission  $I = 1,0$  mA

$\frac{U}{\text{kV}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$	$\frac{U}{\text{kV}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$
5,0	0,02	20,0	0,49
7,5	0,02	22,5	0,81
10,0	0,02	25,0	1,25
12,5	0,03	27,5	1,82
15,0	0,10	30,0	2,40
17,5	0,26	32,5	3,10
		35,0	3,90

**Exploitation**

**a) Courant d'ionisation  $I_C$  en fonction de la tension du condensateur  $U_C$ :**

Pour une haute tension  $U$  du tube constante et un courant d'émission  $I$  constant, le courant d'ionisation  $I_C$  augmente d'abord proportionnellement à la tension du condensateur  $U_C$  (voir fig. 3). Il augmente de moins en moins au fur et à mesure que  $U_C$  augmente et finit par atteindre une valeur de saturation (plateau). La valeur de saturation est d'autant plus élevée que la haute tension  $U$  du tube est grande. La tension du condensateur  $U_C$  à laquelle la valeur de saturation est atteinte, augmente elle aussi avec  $U$ .

**b) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction du courant d'émission  $I$ :**

Pour une haute tension  $U$  du tube constante, la valeur de saturation du courant d'ionisation  $I_C$  est en bonne approximation proportionnelle au courant d'émission  $I$  (voir fig. 4) et donc à l'intensité des rayons X incidents.

**c) Courant d'ionisation de saturation  $I_C$  en fonction de la haute tension  $U$  du tube:**

Au fur et à mesure que la haute tension  $U$  du tube augmente, le courant d'ionisation  $I_C$  augmente de manière surproportionnelle étant donné qu'il y a de plus en plus de quanta d'énergie de disponibles pour l'ionisation de l'air dans le condensateur à plaques (voir expérience P6.3.3.2).

**Résultats**

Le courant d'ionisation d'une chambre d'ionisation présente une caractéristique de saturation. La valeur de saturation du courant d'ionisation peut servir à quantifier l'action ionisante et donc l'intensité du rayonnement X.

Pour une haute tension constante du tube à rayons X, la valeur de saturation du courant d'ionisation est proportionnelle à l'intensité du rayonnement X. Au fur et à mesure que la haute tension du tube augmente, la valeur de saturation du courant d'ionisation augmente de manière surproportionnelle.