

Etude de la répartition de la charge à la surface des conducteurs électriques

Objectifs expérimentaux

- Etude de la répartition de la charge sur la surface extérieure d'une cage de Faraday et d'un conducteur conique en fonction de la courbure de la surface.
- Mesure de la charge sur la surface intérieure d'une cage de Faraday et d'un conducteur conique.

Notions de base

Dans un conducteur électrique, les charges excédentaires se déplacent librement. Les charges sont donc en équilibre électrostatique seulement à la surface du conducteur; l'intérieur du conducteur n'a aucune charge libre.

A vrai dire, les charges se répartissent à la surface du conducteur de manière à n'être exposées ni à un champ électrique, ni à une chute de potentiel le long de la surface. L'intensité du champ électrique est partout orientée perpendiculairement à la surface et tous les points sur la surface et à l'intérieur du conducteur ont le même potentiel. La densité de charge et le champ électrique sont particulièrement importants là où la surface est particulièrement incurvée.

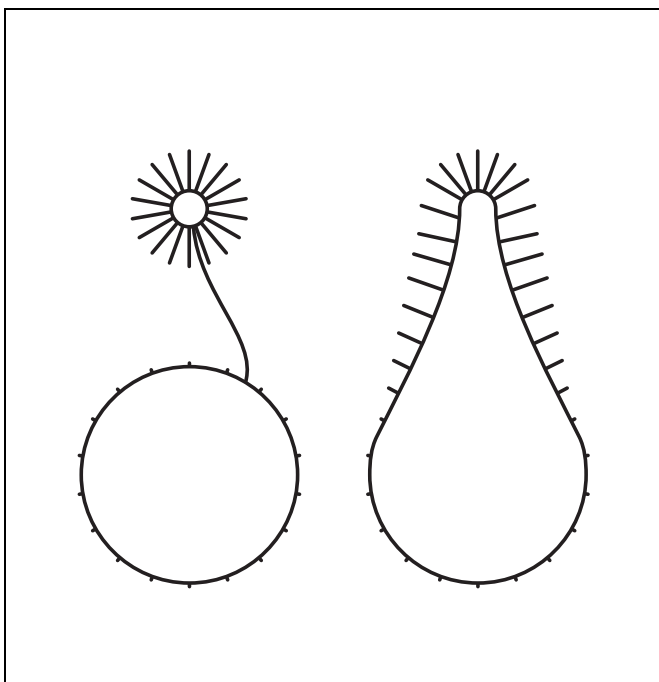
Des corps creux électriquement conducteurs absorbent des charges électriques seulement sur leur surface extérieure. La partie creuse est sans champ et a un potentiel électrique constant. Si on veut céder toute la charge située sur un conducteur, on essaie par conséquent de toucher l'intérieur d'un corps creux métallique.

Pour étudier la répartition de la charge, on utilise dans l'expérience une plaquette d'essai pour prélever la charge électrique de corps creux conducteurs, électrisés, et on mesure celle-ci avec un amplificateur électromètre branché en coulombmètre. Pour le relevé des charges, l'amplificateur électromètre est équipé, quant à lui, d'un corps creux métallique, une cage de Faraday. Un voltmètre quelconque sert d'instrument d'affichage pour la tension de sortie U_A . D'après la capacité de référence C , on calcule

$$Q = C \cdot U_A \quad (1).$$

Avec $C = 10 \text{ nF}$, par ex. $U_A = 1 \text{ V}$ correspond ainsi à la charge $Q = 10 \text{ nAs}$. On obtient d'autres gammes de mesure avec d'autres capacités.

Considérons deux sphères métalliques électrisées au même potentiel: la plus petite est celle avec l'intensité de champ la plus grande. De très grandes intensités de champ peuvent donc régner sur des pointes fines.



Matériel

1 conducteur conique sur support isolant	543 07
2 cages de Faraday	546 12
1 plaquette d'essai	542 52
1 alimentation haute tension, 10 kV	521 70
1 câble haute tension	501 05
1 amplificateur électromètre	532 14
1 adaptateur secteur enfichable, 230 V/12 V~/20 W	562 791
1 condensateur STE 1 nF, 630 V	578 25
1 condensateur STE 10 nF, 100 V	578 10
1 voltmètre, CC, jusqu'à $U = \pm 8 \text{ V}$. . . p.ex.	531 100
1 fiche de fixation	590 011
1 tige de connexion	532 16
1 isolateur	540 52
1 socle	300 11
1 jeu de 6 pinces crocodiles nues	501 861
Câbles d'expérience	

Conseils de sécurité

L'alimentation haute tension 10 kV répond aux consignes de sécurité pour les appareils électriques de mesure, de commande, de régulation et de laboratoire. Elle fournit une haute tension inoffensive en cas de contacts fortuits. Les mesures de sécurité suivantes sont à observer :

- Suivre les instructions du mode d'emploi de l'alimentation haute tension.
- N'intervenir dans le montage expérimental (connexions et modifications) que lorsque l'alimentation haute tension 10 kV est hors service.
- Réaliser le montage expérimental de manière à ce qu'il soit impossible d'entrer inopinément en contact avec les pièces non isolées, les câbles et les prises.
- Avant de mettre l'alimentation haute tension 10 kV en marche, régler la tension de sortie sur zéro (amener le potentiomètre tournant sur la butée gauche).
- Pour éviter les claquages, disposer le câble haute tension de manière à ce qu'aucun objet électriquement conducteur ne soit à proximité de celui-ci.

Remarque préliminaire

L'expérience doit être réalisée avec grand soin car les pertes de charge consécutives aux « courants de fuite » par l'intermédiaire des isolateurs risquent d'occasionner des erreurs de mesure considérables. Par ailleurs, des phénomènes d'influence indésirables peuvent influencer sur le résultat.

L'expérience doit être réalisée dans une pièce fermée, sèche pour éviter autant que possible les pertes de charge consécutives à une forte humidité de l'air.

Il est recommandé de nettoyer les tiges isolantes avec de l'eau distillée, puisque l'eau distillée est le meilleur solvant qui soit pour les sels conducteurs sur les isolateurs. Du reste, pour décharger les tiges isolantes avant de commencer l'expérience, on devrait les faire passer plusieurs fois rapidement à travers une flamme non fuligineuse, par ex. d'un bec à butagaz.

L'expérimentateur doit – notamment pour la mesure de la charge – tenir la tige de connexion de l'amplificateur électromètre dans la main afin d'assurer sa propre mise à la terre.

Montage

Le montage expérimental se compose de deux parties. La fig. 1 illustre le montage pour l'électrisation des corps creux et pour le prélèvement des charges d'essai. La fig. 2 montre le câblage de l'amplificateur électromètre pour la mesure des charges d'essai.

Electrisation des corps creux:

- Enficher la cage de Faraday (**a**) sur l'isolateur et monter l'ensemble sur le socle.
- Brancher le câble haute tension au pôle plus de l'alimentation haute tension et relier le pôle moins à la terre.
- Enficher l'extrémité libre du câble haute tension dans le trou supérieur (!) de 4 mm de l'isolateur.

Montage pour la mesure de la charge d'essai:

- Alimenter l'amplificateur électromètre en tension via l'adaptateur secteur enfichable.
- Brancher la seconde cage de Faraday (**c**) avec la fiche de fixation.
- Enficher le condensateur STE 10 nF (**d**).
- Relier la tige de connexion (**e**) à la masse au moyen d'un câble d'expérience et connecter la masse à la terre de l'alimentation haute tension, de préférence par l'intermédiaire d'un long câble d'expérience.
- Brancher le voltmètre à la sortie.

Réalisation

N.B.:

Les cages de Faraday et le conducteur conique restent branchés à la source haute tension pendant toute la procédure expérimentale: éviter de toucher avec la main les corps creux étudiés, même si la haute tension n'est pas dangereuse en cas de contacts fortuits.

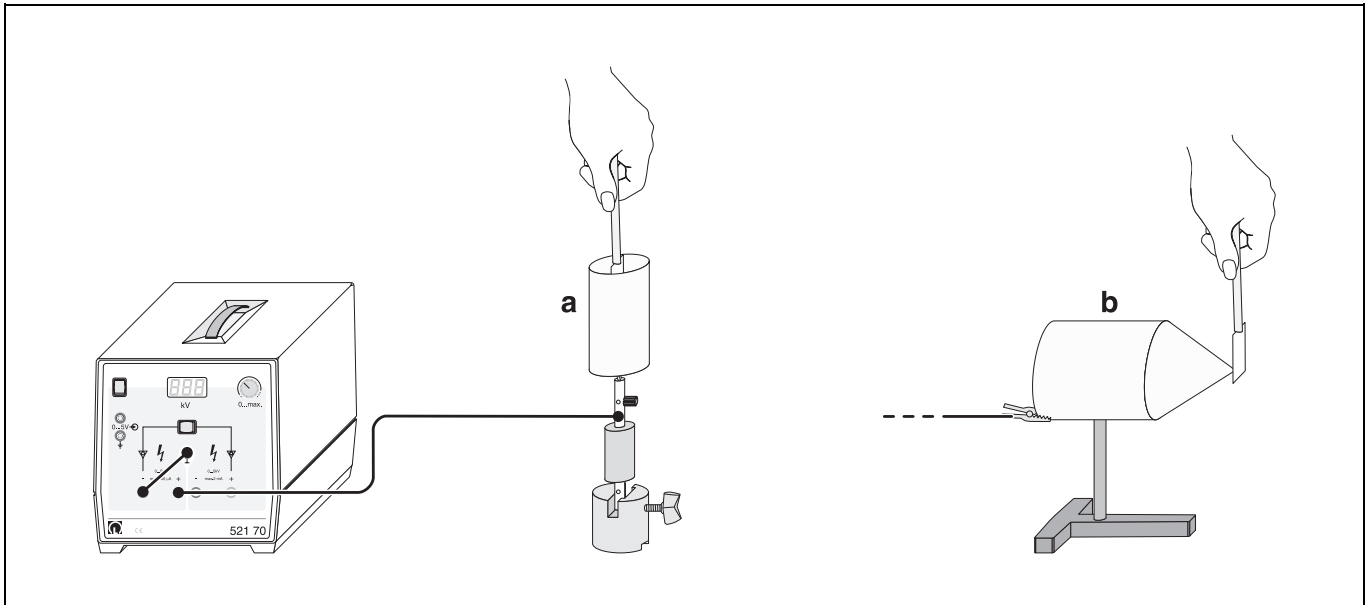
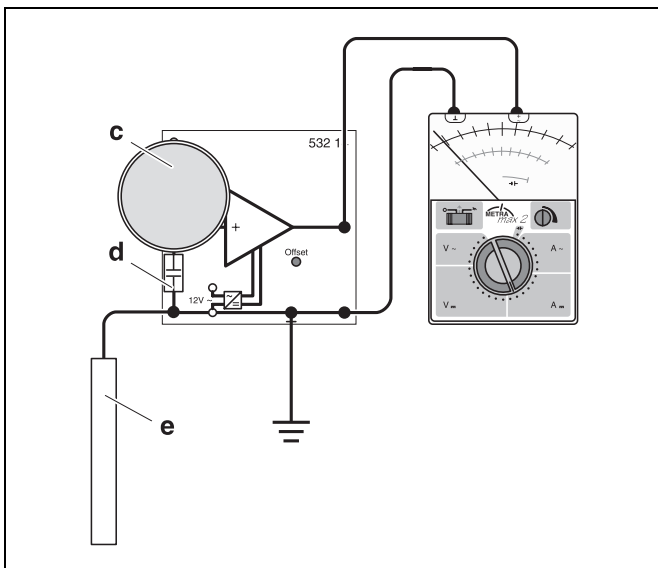


Fig. 1 Montage expérimental pour la mesure de la répartition de la charge sur une cage de Faraday (a) et sur un conducteur conique (b)

Fig. 2 Montage expérimental pour la mesure de la charge sur la plaquette d'essai

Fig. 3 Mesure de la charge sur la plaquette d'essai.

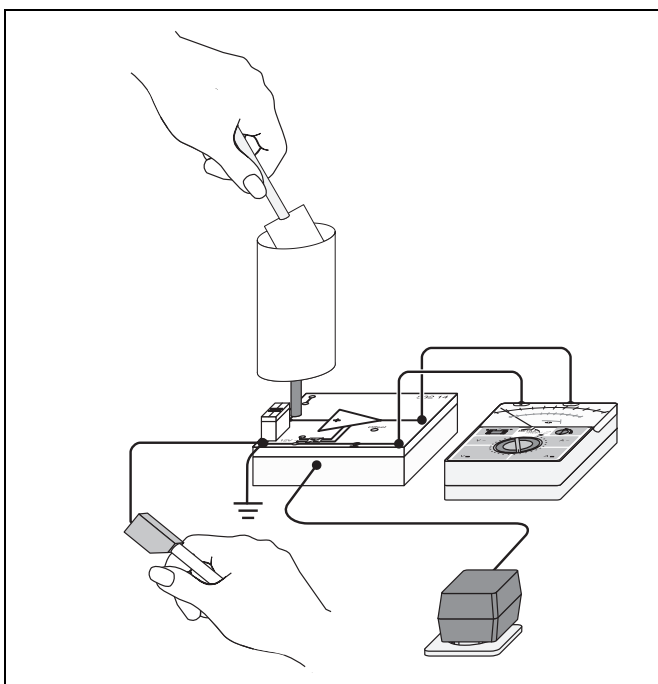


a) Répartition de la charge sur la cage de Faraday:

- Mettre l'alimentation haute tension en service et régler $U = 5 \text{ kV}$.
- Décharger la plaquette d'essai avec la tige de connexion (e).
- Toucher la paroi extérieure de la cage de Faraday (a) avec la plaquette d'essai et prélever une charge.
- Pour mesurer la charge, toucher et décharger la cage de Faraday (c) de l'électromètre avec la tige de connexion (e), prendre ensuite la tige de connexion dans la main et mettre la plaquette d'essai en contact avec la face intérieure de la cage de Faraday (voir fig. 3).
- Recommencer la procédure pour différents endroits de la paroi extérieure et de la paroi intérieure de la cage de Faraday (a); pour ce faire, décharger à chaque fois la plaquette d'essai avec la tige de connexion (e).

b) Répartition de la charge sur le conducteur conique:

- Arrêter l'alimentation haute tension et remplacer la cage de Faraday par le conducteur conique (b); pour ce faire, fixer le câble haute tension au conducteur conique avec une pince crocodile.
- Mettre l'alimentation haute tension en service et régler 5 kV .
- Rapprocher par l'avant la plaquette d'essai de la pointe du conducteur conique et mesurer la charge sur la plaquette d'essai.
- Recommencer la procédure pour différents endroits de la paroi extérieure et de la paroi intérieure du conducteur conique ; pour ce faire, décharger à chaque fois la plaquette d'essai avec la tige de connexion (e).



Exemple de mesure**a) Répartition de la charge sur la cage de Faraday:**

Lieu	$\frac{Q}{nAs}$
Paroi extérieure	6,0
Paroi intérieure	0,1

b) Répartition de la charge sur le conducteur conique:

Lieu	$\frac{Q}{nAs}$
Paroi extérieure	
Pointe	8,6
Partie conique	7,8
Partie cylindrique	6,2
Paroi intérieure	0,4

Exploitation et résultat

Quasiment aucune charge ne peut être mise en évidence sur les parois intérieures de la cage de Faraday et du conducteur conique. Toute la charge est située sur la paroi extérieure du conducteur.

Sur le conducteur conique, la charge prélevée à la surface extérieure dépend de la courbure de la surface. Plus le rayon de courbure est petit, plus la charge présente est grande. Le rayon de courbure de la pointe du cône est particulièrement petit. La charge accumulée ici est importante.

Comme l'intensité du champ électrique à la surface est proportionnelle à la densité de charge, l'intensité de champ est elle aussi importante à la pointe. Ce phénomène porte également le nom d'action des pointes; le paratonnerre est un exemple d'application pratique.

Information supplémentaire

La subordination de la densité de charge au rayon de courbure peut se justifier comme suit: le potentiel d'une sphère métallique électrisée de rayon R et de charge Q est

$$U = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R} \quad (\text{II})$$

ϵ_0 : constante de champ électrique

Comme la charge sur la surface de la sphère est répartie uniformément, la densité de charge est

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi \cdot R^2} \quad (\text{III})$$

(II) et (III) donnent l'expression

$$U = \frac{\sigma \cdot R}{\epsilon_0} \quad (\text{IV})$$

Deux sphères ou, de manière généralisée, deux surfaces curvilignes de rayon de courbure R différent sont au même potentiel si on a

$$\sigma \sim \frac{1}{R} \quad (\text{V})$$

pour leur densité de charge σ .