

Etude de l'influence avec les hémisphères de Cavendish

Objectifs expérimentaux

- Mise en évidence de la disposition des charges électriques à la surface d'un conducteur électrique.
- Mise en évidence de la séparation dans l'espace des charges positives et négatives (influence) sur un conducteur électrique au voisinage d'un corps chargé.

Notions de base

Tous les corps ont des charges électriques positives et négatives. Elles se neutralisent en un corps neutre si bien qu'aucune charge ne peut être mesurée. Un corps chargé contient un excédent de charges positives ou négatives.

Dans un conducteur électrique, les charges électriques excédentaires se déplacent librement. Comme des charges de même signe se repoussent mutuellement, les charges en équilibre électrostatique sont seulement à la surface d'un conducteur; les différents porteurs de charge sont alors éloignés le plus possible l'un de l'autre. Cela est démontré dans l'expérience avec une sphère enfermée dans deux hémisphères métalliques assemblés l'un à l'autre pour ainsi former une autre sphère. Les charges sur la sphère extérieure restent à la surface de celle-ci et ne sont pas déplacées vers la sphère intérieure, même si celle-ci touche la sphère extérieure (voir fig. 1). Si la sphère intérieure est électrisée en premier, les charges sont alors déplacées vers la sphère extérieure dès que celle-ci entoure et touche la sphère intérieure.

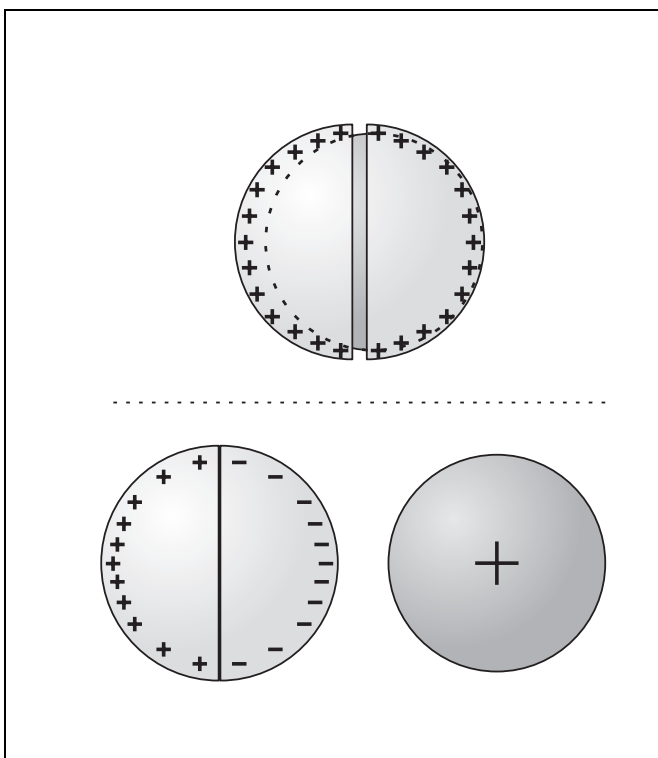
Si on rapproche un conducteur électrique d'un corps chargé, les charges électriques positives et négatives du conducteur sont séparées dans l'espace. Cela vient du fait que des charges de signes contraires s'attirent et que des charges de même signe se repoussent. La séparation de charge est appelée influence et les charges qui se manifestent sur le conducteur, charges par influence. Pour mettre l'influence en évidence dans l'expérience, on place deux hémisphères métalliques – réunis en une sphère – à proximité d'un corps électrisé de manière à avoir si possible des charges positives seulement sur une moitié et des charges négatives sur l'autre (voir fig. 1). Pour finir, on sépare les hémisphères au voisinage du corps électrisé si bien que les charges restent sur les hémisphères.

Les charges en présence sur la sphère et les hémisphères sont mesurées quasiment sans courant avec un amplificateur électromètre branché en coulombmètre. Un voltmètre quelconque sert d'instrument d'affichage pour la tension de sortie U_A . D'après la capacité de référence C , on calcule

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

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.

Fig. 1 Disposition de charges électriques à la surface d'un conducteur électrique (en haut), séparation des charges positives et négatives sur un conducteur électrique au voisinage d'un corps chargé (en bas)



Matériel

1 sphère sur support isolant	543 02
1 paire d'hémisphères de Cavendish	543 05
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 voltmètre, jusqu'à $U = \pm 10$ V p.ex.	531 100
1 condensateur STE 1 nF	578 25
1 condensateur STE 10 nF	578 10
1 accouplement enfichable	340 89
1 tige de connexion	532 16
2 tiges, 25 cm	300 41
2 noix Leybold	301 01
1 tige perforée, isolée, 25 cm	590 13
3 socles	300 11
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 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 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 des sphères 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'alimentation haute tension et le bout du câble haute tension doivent être suffisamment distants du reste du montage expérimental pour éviter d'occasionner des phénomènes d'influence perturbateurs.

Pour la même raison, – notamment pour la mesure de la charge – l'expérimentateur doit 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. 2 illustre la disposition des sphères et l'alimentation haute tension. La fig. 3 montre le câblage de l'amplificateur électromètre pour la mesure des charges.

Disposition de la sphère et des hémisphères:

- Fixer les hémisphères au matériel support avec l'échancrure (c) tournée vers le bas.
- Orienter les hémisphères de sorte qu'elles soient face à face, à la même hauteur, et qu'elles entourent la sphère sans toutefois la toucher.

Alimentation en haute tension:

- Brancher le câble haute tension au pôle plus (a) de l'alimentation haute tension et relier le pôle moins (a) à la masse.
- Enficher le bout libre du câble haute tension dans le trou supérieur de la tige perforée (b).

Montage pour la mesure de la charge:

- Alimenter l'amplificateur électromètre en tension via l'adaptateur secteur enfichable.
- Brancher l'accouplement enfichable (d).
- Enficher le condensateur STE 10 nF (e).
- Relier la tige de connexion (f) 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.

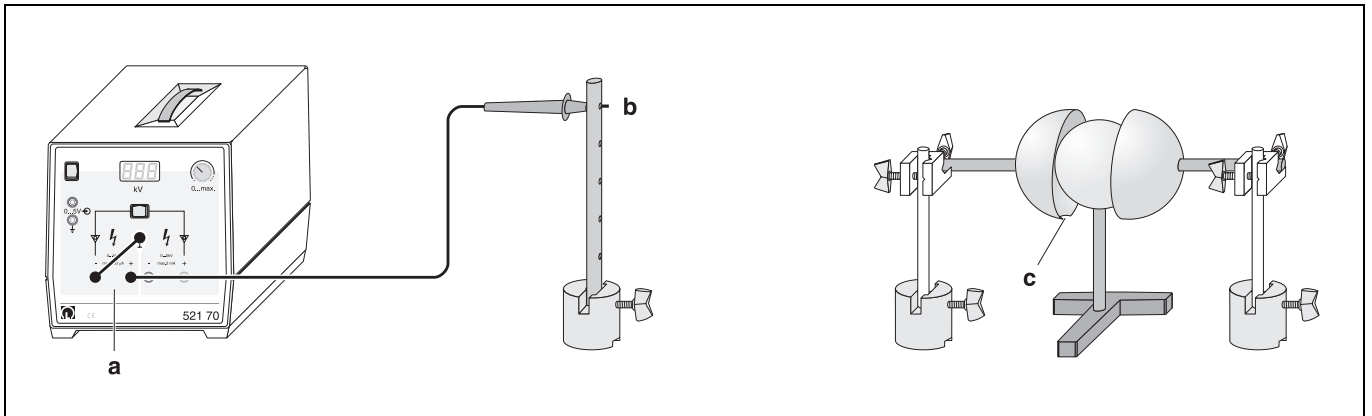


Fig. 2 Montage expérimental avec les hémisphères de Cavendish.

Réalisation

N.B.:

Ne toucher les hémisphères et la sphère qu'au niveau du pied du support.

Pour la mesure de la charge, tenir la tige de connexion dans la main.

Avant chaque mesure de la charge, appliquer la tige de connexion sur l'accouplement enfichable (d) de l'amplificateur électromètre afin de décharger le condensateur.

a) Répartition de la charge sur des conducteurs électriques

a1) Electrification de la sphère extérieure

- Séparer les deux hémisphères et la sphère et les décharger par contact avec la tige de connexion (f) (mise à la terre dans un espace sans champ).
- Entourer la sphère des deux hémisphères de manière à ce que les hémisphères la touche.
- Régler la haute tension sur 5 kV.
- Toucher un hémisphère avec la pointe du câble haute tension pour l'électrifier.
- Régler la haute tension sur zéro.
- Séparer les hémisphères.
- Pour mesurer les charges, prendre la tige de connexion (f) dans la main, appliquer successivement les hémisphères et la sphère sur l'accouplement enfichable (d) de l'amplificateur électromètre (voir fig. 4).

a2) Electrification de la sphère intérieure

- Séparer les deux hémisphères et la sphère et les décharger par contact avec la tige de connexion.
- Régler la haute tension sur 5 kV.
- Toucher la sphère avec la pointe du câble haute tension pour l'électrifier.
- Régler la haute tension sur zéro.
- Entourer la sphère des deux hémisphères de manière à ce qu'ils la touchent.
- Séparer les hémisphères.
- Utiliser l'amplificateur électromètre (avec la tige de connexion dans la main) pour mesurer les charges des hémisphères et de la sphère.

b) Influence

- Séparer les deux hémisphères et la sphère et les décharger par contact avec la tige de connexion.
- Régler la haute tension sur 5 kV.

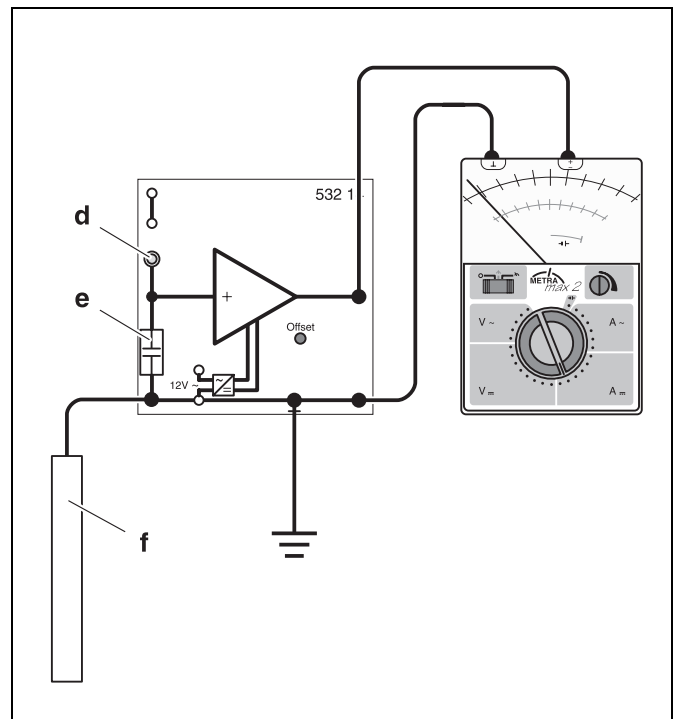
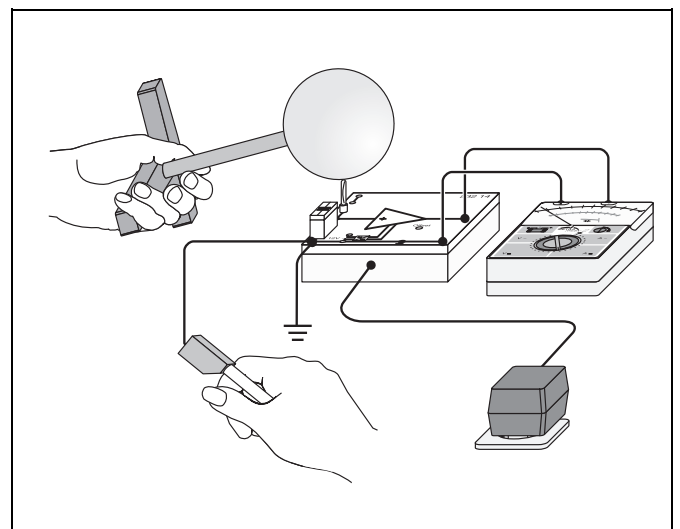


Fig. 3 Câblage de l'amplificateur électromètre pour la mesure des charges.

Fig. 4 Mesure de la charge.



- Toucher la sphère avec la pointe du câble haute tension pour l'électriser.

Régler la haute tension sur zéro.

- Assembler les hémisphères en une sphère et les amener au voisinage de la sphère électrisée tout en veillant à ne pas orienter le plan de séparation des deux hémisphères sur le centre de la sphère.
- Séparer les hémisphères.
- Utiliser l'amplificateur électromètre (voltmètre à zéro central, tige de connexion dans la main) pour mesurer les charges des hémisphères et de la sphère tout en considérant le signe.

Exemple de mesure

Haute tension: $U = 5 \text{ kV}$

a) Répartition de la charge sur des conducteurs électriques

a1) Electrification de la sphère extérieure

Tab. 1: Répartition des charges après électrification de la sphère extérieure

Corps	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Hémisphère 1	18
Hémisphère 2	18
Sphère	2

a2) Electrification de la sphère intérieure

Tab. 2: Répartition des charges après électrification de la sphère intérieure

Corps	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Hémisphère 1	12
Hémisphère 2	12
Sphère	1

b) Influence

Tab. 3: Répartition des charges

Corps	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Sphère	28
Hémisphère 1	9
Hémisphère 2	-8

Exploitation et résultat

a) Répartition de la charge sur des conducteurs électriques

a1) Electrification de la sphère extérieure

Les deux hémisphères sont électrisés à parts égales étant donné qu'ils forment ensemble une sphère complète à la surface de laquelle les charges se répartissent uniformément.

La sphère intérieure ne s'électrise pas bien qu'elle touche les hémisphères. Aucune charge ne migre vers l'intérieur (cage de Faraday).

C'est seulement lorsqu'on sépare les hémisphères qu'une partie de la charge peut être transférée sur la sphère.

a1) Electrification de la sphère intérieure

La charge passe de la sphère intérieure à l'extérieur, sur les deux hémisphères extérieurs, pour s'y répartir équitablement.

b) Influence

Des charges sont transférées sur les deux hémisphères par influence dans le champ électrique de la sphère électrisée de telle sorte que les deux hémisphères sont électrisés par des charges égales et de signe contraire.