

Détermination de la capacité d'une sphère dans un espace libre

Objectifs expérimentaux

- Mesure de la charge Q sur une sphère conductrice électrisée avec une haute tension U dans un espace libre, en fonction de la haute tension.
- Détermination de la capacité C de la sphère en fonction du rayon de la sphère R .
- Détermination de la constante de champ électrique ϵ_0 .

Notions de base

La différence de potentiel U d'un conducteur électrique électrisé, isolé dans un espace libre est proportionnelle à la charge Q du corps par rapport à un point de référence infiniment loin. On écrit:

$$Q = C \cdot U \quad (I)$$

avec C pour la capacité du corps chargé.

C'est ainsi que la capacité d'une sphère de rayon R dans un espace libre est donnée par

$$C = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot R \quad (II),$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$; constante de champ électrique

car la différence de potentiel d'une sphère électrisée par rapport à un point de référence infiniment loin est (cf. fig. 1)

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

Dans l'expérience, on électrise des sphères conductrices de différents diamètres avec différentes hautes tensions U puis on mesure à chaque fois les charges Q sur les sphères. Le but est ici de vérifier la proportionnalité

$$Q \sim U \quad (IV),$$

de déterminer la capacité C en fonction du rayon R et de vérifier la proportionnalité

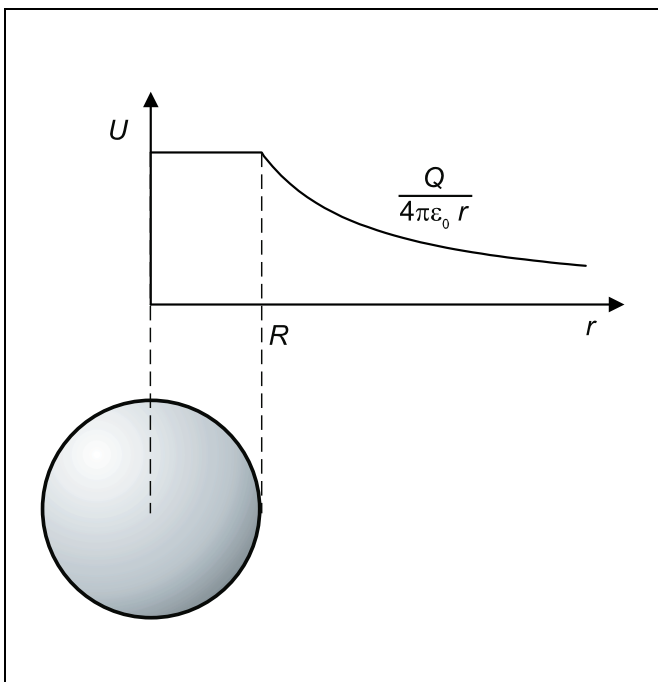
$$C \sim R \quad (V).$$

Les charges Q 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_A , on calcule:

$$Q = C_A \cdot U_A \quad (VI).$$

Avec $C_A = 10 \text{ nF}$, 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 Le potentiel électrique d'une sphère métallique électrisée de rayon R en fonction de la distance r du centre de la sphère.



Matériel

1 jeu de 3 sphères conductrices	543 00
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 cage de Faraday	546 12
1 fiche de fixation	590 011
1 condensateur STE 1 nF, 630 V	578 25
1 condensateur STE 10 nF, 100 V	578 10
1 tige de connexion	532 16
1 voltmètre, CC, jusqu'à $U = \pm 8$ V, . . p.ex.	531 100
1 tige perforée, isolée, 25 cm	590 13
2 socles	300 11
Câbles d'expérience	

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 la tige isolante 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 la tige isolante avant de commencer l'expérience, on devrait la 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.

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.

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.

Montage

Le montage expérimental se compose de deux parties. La fig. 2 illustre le dispositif pour l'électrisation des sphères. La fig. 3 montre le câblage de l'amplificateur électromètre pour la mesure des charges.

Alimentation en haute tension:

- Brancher le câble haute tension au pôle plus de l'alimentation haute tension et relier le pôle moins à la terre.
- Monter la tige perforée dans le socle et enficher le bout libre du câble haute tension **(a)** dans le trou supérieur de la tige perforée.
- Monter la tige isolante des sphères conductrices dans le socle et enficher la petite sphère conductrice.

Montage pour la mesure de la charge:

- Alimenter l'amplificateur électromètre en tension via l'adaptateur secteur enfichable.
- Installer la cage de Faraday **(b)** avec la fiche de fixation.
- Enficher le condensateur STE 10 nF **(c)**.
- Mettre la tige de connexion **(d)** à la masse à l'aide du câble d'expérience et connecter la masse à la terre de l'alimentation haute tension en utilisant de préférence un long câble d'expérience.
- Brancher le voltmètre à la sortie.

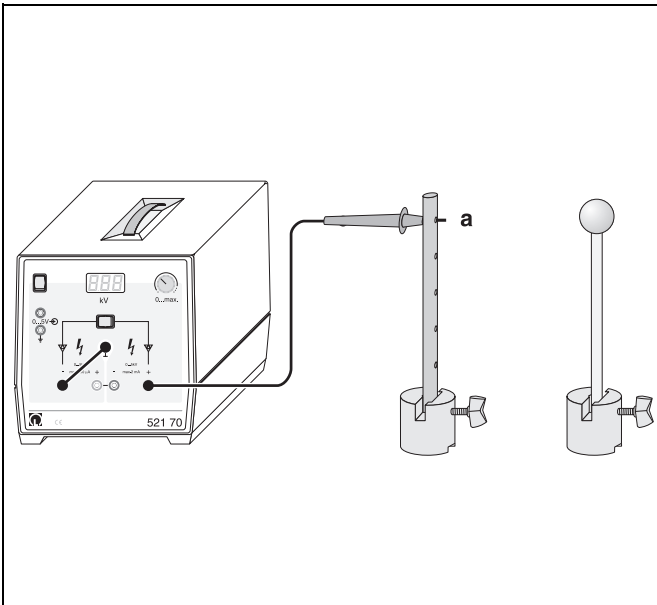


Fig. 2 Montage pour l'électrisation d'une sphère dans un espace libre.

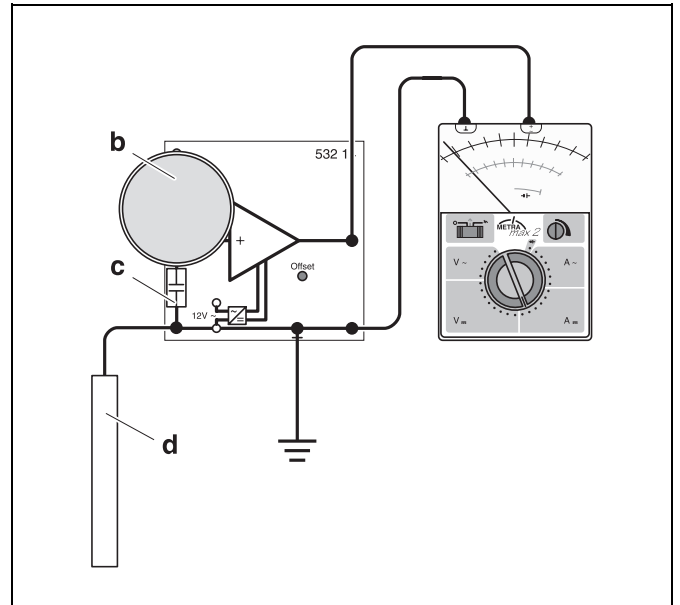


Fig. 3 Câblage de l'amplificateur électromètre pour la mesure des charges.

Réalisation

- Décharger la sphère conductrice en la touchant avec la tige de connexion.
- Mettre l'alimentation haute tension en marche et régler une tension $U = 1$ kV.
- Electrifier la sphère conductrice en la touchant avec la pointe du câble haute tension.

Pour mesurer la charge, décharger la cage de Faraday en la touchant avec la tige de connexion (d), ensuite, prendre la tige de connexion dans la main et amener la sphère conductrice avec tige isolante à l'intérieur de la cage de Faraday (voir fig. 4).

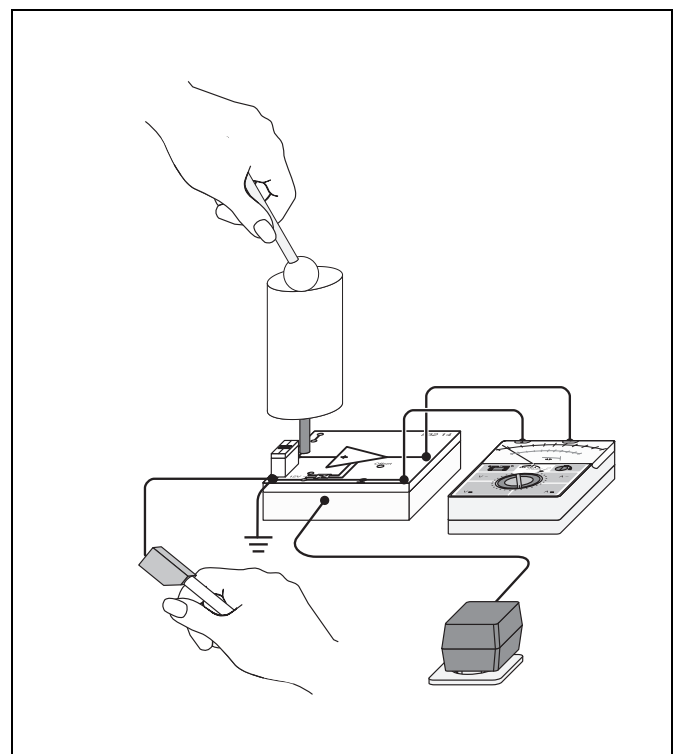
- Augmenter la haute tension U jusqu'à 10 kV par pas de 1 kV et répéter la mesure.
- Relever la même série de mesures avec la sphère conductrice de taille moyenne et avec la grande sphère conductrice.

Exemple de mesure

Tab. 1: Charge Q sur des sphères conductrices de différents diamètres d en fonction de la haute tension U

$\frac{U}{\text{kV}}$	$\frac{Q}{\text{nAs}}$		
	$d = 2,5 \text{ cm}$	$d = 3,0 \text{ cm}$	$d = 3,5 \text{ cm}$
1,0	1,0	1,3	1,9
2,0	2,5	3,2	3,8
3,0	3,7	4,6	5,4
4,0	4,7	6,1	7,3
5,0	5,7	7,5	9,1
6,0	7,2	9,2	10,8
7,0	8,7	10,9	12,5
8,0	9,4	12,1	14,3
9,0	10,7	13,7	16,2
10,0	11,9	15,3	17,4

Fig. 4 Mesure de la charge sur une sphère conductrice.



Exploitation et résultat

L'influence de la haute tension U sur la charge Q pour les trois sphères conductrices est représentée graphiquement sur la fig. 5. Comme les valeurs mesurées sont dans le cadre de la précision de mesure sur la droite tracée qui passe par l'origine, la proportionnalité $Q \sim U$ est donc vérifiée.

Les pentes des droites passant par l'origine, soit conformément à (I) les capacités C , sont récapitulées dans le tab. 2 et représentées sur la fig. 6 en fonction du diamètre d de la sphère.

Tab. 2: Capacités C des sphères conductrices (déterminées d'après la fig. 4) en fonction du diamètre d

$\frac{d}{\text{cm}}$	$\frac{C}{\text{pF}}$
2,5	1,19
3,0	1,53
3,5	1,78

La droite passant par l'origine tracée à la fig. 6 a la pente

$$a = 50 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

A cause de (II), on a $a = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0$. Il s'ensuit donc pour la constante de champ électrique

$$\epsilon_0 = 8,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Valeur littéraire: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$

La valeur déterminée est inférieure à la valeur littéraire. Cela est dû au logement de la tige isolante dans les sphères conductrices. Les capacités des sphères conductrices sont plus faibles que la capacité à laquelle on s'attend pour une sphère idéale.

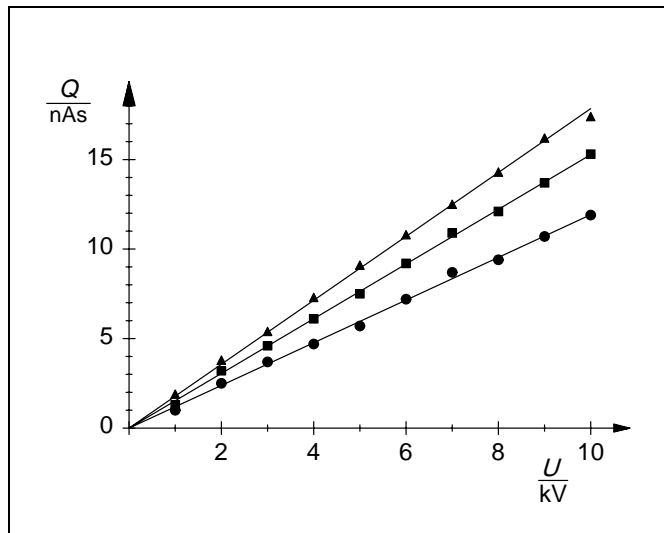


Fig. 5 Influence de la haute tension U sur la charge Q pour des sphères conductrices de diamètre d différent.
Cercles: 2,5 cm, carrés: 3,0 cm, triangles: 3,5 cm

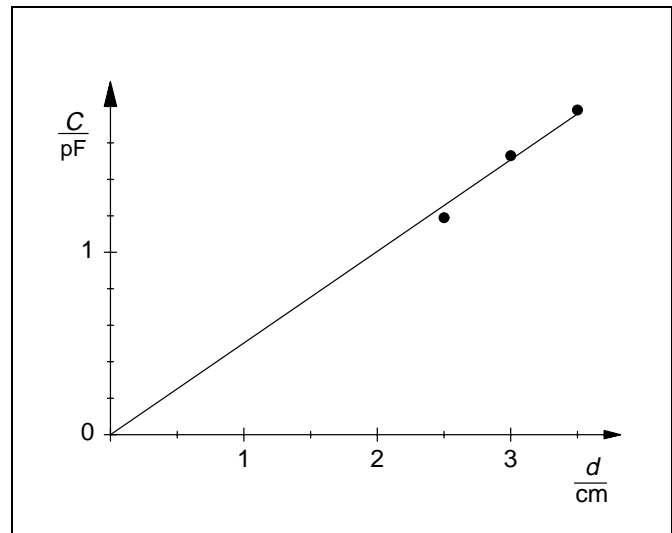


Fig. 6 Influence du diamètre d des sphères conductrices sur la capacité C