

## Mesure de la force entre une sphère électrisée et une plaque de métal

### Objectifs expérimentaux

- Mesure de la force  $F$  entre une sphère électrisée et une plaque métallique reliée à la terre en fonction de la distance  $d$  entre le centre de la sphère et la plaque de métal.
- Mesure de la force  $F$  entre une sphère électrisée et une plaque métallique reliée à la terre en fonction de la charge  $Q$  de la sphère.

### Notions de base

Une charge ponctuelle  $Q$  à une distance  $d$  devant une plaque de métal reliée à la terre génère un excès de charges de signe opposé par influence (déplacement de charge) sur la surface de la plaque métallique. Une force d'attraction vers la plaque métallique agit donc sur la charge  $Q$ .

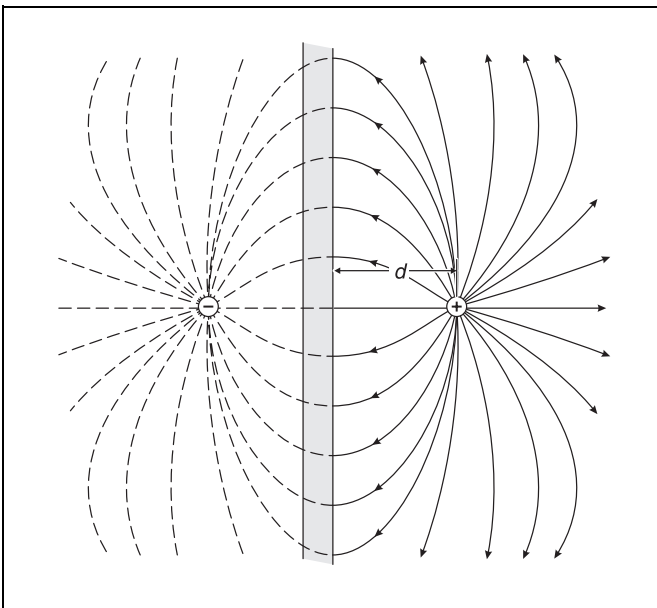


Fig. 1 Comparaison entre le spectre des lignes de champ d'une charge ponctuelle  $Q$  devant une plaque métallique et celui de deux charges  $Q$  et  $-Q$ .

La force d'attraction  $F$  correspond à la force qu'une charge ponctuelle  $-Q$  exercerait à une distance  $2d$  sur la charge  $Q$ . On a donc

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{-Q^2}{(2d)^2} \quad (I)$$

Cette relation est illustrée à la fig. 1: les lignes de champ électrique issues de la charge  $Q$  sont en équilibre perpendiculairement à la plaque métallique car une composante du champ électrique parallèlement à la plaque métallique occasionnerait un déplacement de la répartition des charges sur la plaque de métal qui ne peut plus avoir lieu en équilibre. Une charge image  $-Q$  disposée en symétrie spéculaire par rapport à la plaque métallique produit le même spectre de lignes de champ.

Dans l'expérience, on mesure la force entre une sphère électrisée et une plaque de métal dans le but de vérifier les proportionnalités

$$F \sim \frac{1}{d^2} \quad (II)$$

et

$$F \sim Q^2 \quad (III).$$

L'influence mutuelle entre la sphère et la plaque métallique occasionne en outre un déplacement de charge aussi sur la sphère qui se manifeste tout particulièrement pour de petites distances  $d$ . Ce déplacement de charge correspond à une diminution de la distance  $d$  et entraîne une augmentation de la force  $F$ .

**Matériel**

1 jeu d'accessoires pour les expériences d'électrostatique . . . . .	516 37
1 support à hauteur variable . . . . .	516 31
1 newtonmètre . . . . .	314 251
1 capteur de force . . . . .	314 261
1 câble de connexion, 6 pôles, 1,5 m . . . . .	501 16
1 tige, 47 cm . . . . .	300 42
1 pied en V, petit modèle . . . . .	300 02
1 noix Leybold . . . . .	301 01
1 bâtonnet en plastique . . . . .	541 04
1 peau . . . . .	541 21
Câbles d'expérience	

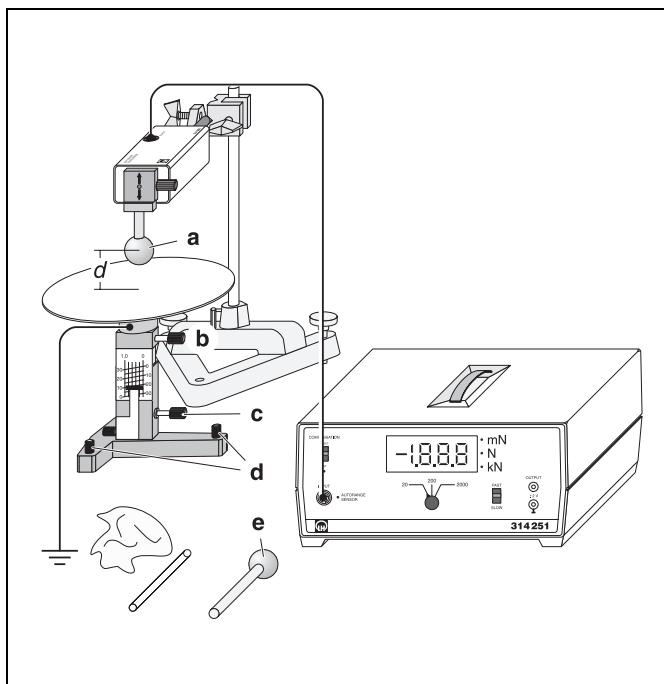
**Remarque préliminaire**

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 les isolateurs 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. La tige en plastique et la peau doivent elles aussi être propres et sèches.

Fig. 2 Montage expérimental pour la mesure de la force entre une sphère et une plaque métallique reliée à la terre

**Montage**

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 2.

- Placer la plaque de condensateur sur isolateur du jeu d'accessoires pour les expériences d'électrostatique (516 37) sur le support à hauteur variable, la fixer avec la vis moletée (b) et la mettre à l'horizontale avec les vis de réglage (d).
- Enficher le câble d'expérience dans le perçage de 4 mm du socle de la plaque de condensateur et le connecter à la terre de protection.
- Faire tourner la vis de réglage (c) pour régler le support à hauteur variable à sa position la plus haute et procéder à l'ajustage sur zéro.
- Monter la tige dans le pied en V et fixer le capteur de force à la tige à l'aide de la noix Leybold (Direction +F vers le haut).
- Fixer la sphère (a) sur isolateur avec paire de fiches au support du capteur de force.
- Brancher le capteur de force au newtonmètre avec le câble à 6 pôles.
- Régler la hauteur du capteur de force de manière à avoir une distance de 15 mm (écartement du centre de la sphère:  $d = 30$  mm) entre la plaque métallique et la paroi de la sphère.

**Réalisation**

*Remarques:*

*Comme les forces à mesurer sont très faibles, la mesure est très vite perturbée par des influences environnantes: secousses environnantes, courant d'air et variations de température.*

*Le newtonmètre doit s'échauffer pendant au moins 30 min avant de commencer l'expérience: mettre en marche le newtonmètre avec le capteur de force branché en actionnant l'interrupteur secteur au dos de l'appareil.*

**a) Force en fonction de la distance:**

- Pour la compensation du zéro, positionner le bouton-poussoir COMPENSATION du newtonmètre sur SET.
- Electrifier la tige en plastique en la frottant avec la peau.
- Electrifier la sphère (a) en la touchant avec la tige en plastique.
- Relever la force  $F$  et la noter avec la distance  $d$ .
- Augmenter la distance  $d$  avec la vis de réglage (c) par pas de 2,5 mm jusqu'à  $d = 45$  mm, chaque fois relever la force sur le newtonmètre et la noter avec la distance.

**b) Force en fonction de la charge.**

- Régler la distance  $d = 35$  mm.
- Réaliser à nouveau la compensation du zéro du newtonmètre.
- Electrifier à nouveau la tige en plastique en la frottant avec la peau puis la sphère (a) en la touchant avec la tige en plastique.
- Relever la force qui se manifeste sur le newtonmètre et la noter sous la désignation  $F(Q)$ .
- Toucher la sphère électrisée (a) avec la sphère (e) de la même taille pour ainsi réduire la charge de moitié.
- A nouveau relever la force qui survient sur le newtonmètre et la noter maintenant sous la désignation  $F(Q/2)$ .
- Calculer le rapport entre les deux forces.
- Décharger les deux sphères sur la plaque de condensateur et recommencer plusieurs fois l'expérience.

## Exemple de mesure

## a) Mesure de la force en fonction de la distance

Tab. 1: Force  $F$  en fonction de la distance  $d$ 

$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{F}{\text{mN}}$
30	-5,9
32,5	-4,3
35	-3,1
37,5	-2,4
40	-1,9
42,5	-1,6
45	-1,3

## b) Mesure de la force en fonction de la charge

Tab. 2: Force  $F$  pour une charge intégrale  $Q$  et une charge réduite de moitié ( $d = 35 \text{ mm}$ )

$n$	$\frac{F(Q)}{\text{mN}}$	$\frac{F(Q/2)}{\text{mN}}$	$\frac{F(Q/2)}{F(Q)}$
1	-3,2	-0,9	0,28
2	-5,0	-1,2	0,24
3	-3,4	-0,8	0,24
4	-4,0	-1,2	0,30
5	-3,0	-0,7	0,23
6	-3,6	-0,9	0,25
7	-4,6	-1,1	0,24
8	-3,7	-1,0	0,27
9	-3,9	-0,9	0,23
10	-4,2	-1,0	0,24

## Exploitation

## a) Force en fonction de la distance

Les valeurs mesurées du tab. 1 sont représentées graphiquement sur la fig. 3. On voit que la force d'attraction  $F$  entre la sphère électrisée et la plaque de métal reliée à la terre diminue non linéairement si la distance  $d$  augmente.

La fig. 4 représente les valeurs mesurées sous la forme linéarisée  $|F|^{-1/2} = f(d)$ . Les points de mesure sont en bonne approximation sur une droite qui ne passe pas par l'origine mais coupe l'axe des  $x$  à  $d_0 = 17 \text{ mm}$ . Pour la force  $F$ , on a donc la proportionnalité suivante

$$|F|^{-1/2} \sim d - d_0 \text{ ou } F \sim \frac{1}{(d - d_0)^2}$$

Cela correspond à un déplacement de distance résultant d'un déplacement de charge suscité par influence de la sphère vers la plaque métallique.

## b) Mesure de la force en fonction de la charge.

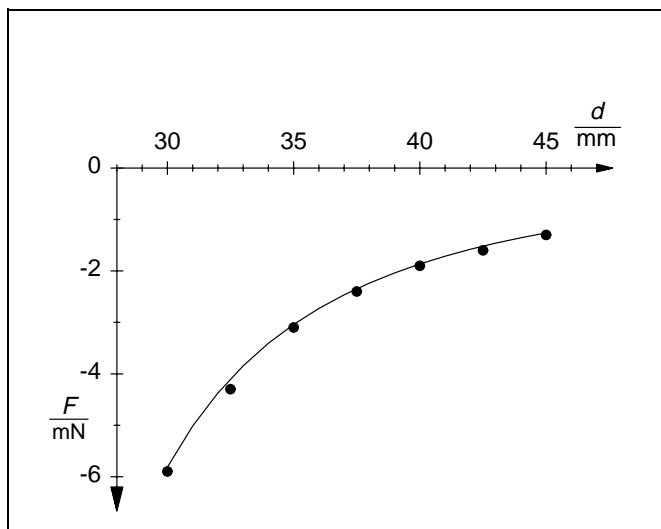
D'après (III), la force  $F$  résultant d'un dédoublement de la charge  $Q$  devrait diminuer d'un quart, c.-à-d. que l'on s'attend à

$$\frac{F(Q/2)}{F(Q)} = 0,25 \quad (\text{IV}).$$

La moyenne des résultats du tab. 2 vaut  $\bar{barx} = 0,252$  et l'écart standard de la moyenne  $\sigma = 0,008$ . L'équation (IV) est ainsi vérifiée.

## Résultat

Une force attractive est suscitée par influence entre une sphère électrisée et une plaque de métal reliée à la terre; cette force correspond à la force suscitée par une charge image.

Fig. 3 Force  $F$  entre une sphère électrisée et une plaque de métal en fonction de la distance  $d$ Fig. 4 Linéarisation de la courbe de mesure de la fig. 3 sous la forme  $|F|^{-1/2} = f(d)$ 