appelle l'*unité absolue* ou l'unité C. G. S. de capacité électrique.

Dans la pratique, cette unité serait trop grande pour les usages courants. Aussi lui a-t-on substitué une unité secondaire de capacité, qui vaut $\frac{1}{10^9}$ de l'unité absolue. C'est ce qu'on appelle le *farad*. On exprime donc les capacités en *farads*, comme on exprime les potentiels en *volts* et les quantités d'électricité en *coulombs*.

927. **Partage de l'électricité entre divers conducteurs. — Équations de l'équilibre électrique.** — Soient un nombre quelconque de conducteurs électrisés en équilibre (nous en prendrons trois comme exemple) dont les capacités sont C', C'', C''' et les potentiels V', V'', V''' : leurs charges Q', Q'', Q''' se trouvent complètement déterminées. Tant qu'ils restent isolés l'un de l'autre, l'équilibre électrique persiste indéfiniment sur chacun d'eux. Si on les met en communication l'un avec l'autre, il se produit un mouvement d'électricité suivi d'un nouvel état d'équilibre. Celui-ci est atteint lorsque le potentiel est devenu le même partout. Il est évident d'ailleurs que la quantité totale d'électricité n'a pas changé : elle s'est simplement distribuée de manière à égaliser les potentiels. L'ensemble des conducteurs forme maintenant un conducteur unique dont la capacité C est égale à la somme des capacités. On a

$$[1] \qquad C = C' + C'' + C'''$$

en même temps que

$$[2] \qquad Q = Q' + Q'' + Q'''.$$

Ces deux équations déterminent le nouveau potentiel V. On a, en effet, par définition

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{Q' + Q'' + Q''' + \ldots}{C} = \frac{V'C' + V''C'' + V'''C'''}{C' + C'' + C''' + \ldots}.$$

Remarques. — 1° On peut écrire cette équation sous la forme générale

$$V \Sigma (C') = \Sigma (V'C'),$$

c'est-à-dire que *le produit du potentiel final par la capacité totale est égal à la somme des produits analogues faits pour chaque conducteur partiel.*

2° Cette équation rappelle l'équation du mélange des gaz,

$$VP = \Sigma (vp),$$

où VP représente le produit de la pression finale du mélange gazeux par le volume total, et $\Sigma (vp)$ la somme des produits analogues pour chacun des gaz mélangés. Cela montre une fois de plus l'analogie, signalée plus haut, entre le potentiel électrique et la force élastique d'un gaz.

928. **Conséquences et cas particuliers.** — 1° Pour deux conducteurs électrisés, la formule devient

$$V = \frac{V'C' + V''C''}{C' + C''}.$$

2° Si les deux charges et les deux capacités sont identiques, on a

$$V = \frac{2V'C'}{2C'} = V' \quad \text{et la charge totale} \quad Q = 2V'C' = 2Q';$$

le potentiel reste donc le même, et la charge totale est doublée.

3° Si les deux charges sont égales et de signes contraires,

$$V = \frac{V'C' - V'C'}{C' + C'} = 0, \qquad Q = 2C' \times 0 = 0,$$

c'est-à-dire que les deux conducteurs sont ramenés à l'état neutre.

4° Si l'un des conducteurs est seul électrisé,

$$V = \frac{Q'}{C' + C''} = \frac{V'C'}{C' + C''} = V' \frac{C'}{C' + C''},$$

et si $C' = C''$,

$$V = \frac{1}{2} V'.$$

Le potentiel varie donc en raison inverse de la capacité.

5° *Méthode de mesure des potentiels.* — Si la capacité C' de l'un des conducteurs est très grande par rapport à celle de l'autre, de manière que cette dernière soit négligeable dans leur somme, on aura, en admettant que le deuxième conducteur soit à l'état neutre,

$$V = V'.$$

Le potentiel ne changera pas.

C'est ce cas particulier qu'on applique dans la mesure expérimentale du potentiel d'un conducteur électrisé.

CHAPITRE V

INFLUENCE OU INDUCTION ÉLECTROSTATIQUE.

929. **Électrisation par influence** ou **par induction.** — Nous avons vu précédemment deux modes d'électrisation des conducteurs : l'un direct, par frottement, et l'autre indirect, par le contact d'un corps électrisé. Il en existe un troisième : c'est l'électrisation à distance, qu'on réalise en plaçant un corps conducteur neutre dans un champ électrique suffisamment intense, c'est-à-dire dans le voisinage de corps conducteurs électrisés. C'est ce phénomène qui constitue l'*influence* ou l'*induction électrostatique*.

On nomme *induisant* ou *inducteur* le corps qui électrise par induction, et *induit* celui qui est électrisé.

930. **Influence sur les corps bons conducteurs.** — *Étude expérimentale.* — On montre l'électrisation par influence, dans le cas des corps bons conducteurs, à l'aide des expériences suivantes, dues à Æpinus.

On prend un cylindre de laiton A, isolé sur un pied de verre, et portant à ses extrémités deux petits pendules électriques. Ces pendules sont formés de balles de sureau suspendues par des fils

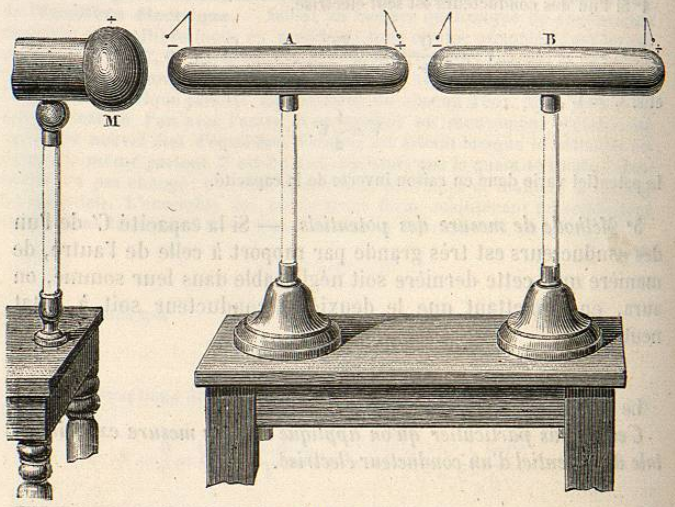

Fig. 868.

de chanvre, qui sont conducteurs et fixés à des tiges métalliques (fig. 868). Lorsqu'on place ce cylindre à une certaine distance d'une source d'électricité *positive* M, on observe la série de phénomènes suivants :

1° Les deux pendules *divergent* immédiatement, ce qui prouve une électrisation instantanée.

2° Si l'on présente au pendule le plus rapproché de la source un bâton de cire d'Espagne électrisé négativement, on observe une répulsion ; donc ce pendule est chargé de la même électricité que la cire, c'est-à-dire d'électricité négative. En présentant à l'autre pendule un tube de verre frotté, il y a également répulsion ; donc ce pendule est électrisé positivement. Par conséquent, *un corps électrisé par influence et isolé possède à la fois,*

sur ses extrémités opposées, les deux espèces d'électricités à l'état libre.

3° *Ligne neutre.* — Entre ces régions électrisées en sens contraires se trouve nécessairement une zone à l'état neutre. On le vérifie en disposant plusieurs pendules le long du cylindre : leur divergence décroît rapidement en s'éloignant des extrémités, et devient nulle en un certain nombre de points qui constituent la *ligne neutre.* Cette ligne n'est jamais au milieu du cylindre; sa position dépend de la charge électrique et de la distance du cylindre au corps induisant ; mais elle est toujours plus rapprochée de l'extrémité voisine de l'inducteur.

4° Aussitôt que l'influence cesse, les deux électricités se recombinent, et le corps revient à l'état neutre. En effet, les pendules retombent dès qu'on éloigne A de l'*inducteur*, ou dès qu'on ramène celui-ci à l'état neutre.

Cela prouve aussi que les charges électriques, positive et négative, aux deux extrémités du cylindre, étaient égales. Toutefois ceci n'est exact qu'autant que l'action induisante a été peu prolongée, parce que, la déperdition par l'air et par les supports étant plus forte pour l'électricité repoussée que pour l'électricité attirée, le cylindre reste chargé d'électricité contraire à celle de l'inducteur.

5° Lorsque le conducteur est encore électrisé par influence, si on le touche *en un quelconque de ses points* avec une tige métallique ou avec le doigt, *l'électricité de même nom que celle de la source s'écoule dans le sol et l'électricité de nom contraire est retenue par celle de la source.* Par exemple, dans le cylindre A, c'est l'électricité négative qui reste, soit qu'on touche l'extrémité positive, la négative, ou la partie médiane.

6° *Inductions successives.* — Un corps électrisé par influence agit à son tour sur les conducteurs voisins pour y séparer les deux électricités : c'est ce que montre la disposition des signes + et — sur un second cylindre B placé à la suite du cylindre A.

7° *Théorie.* — La théorie de Symmer permet de se rendre aisément compte de tous les détails de ce phénomène. On peut d'ailleurs les expliquer et les calculer rigoureusement en considérant l'influence comme un cas particulier de la distribution de l'électricité sur un conducteur placé dans un champ électrique déterminé (873).

931. **Appareil de Riess pour constater l'influence.** — On a objecté à l'appareil d'Æpinus qu'il ne démontre pas l'électrisation de l'extrémité la plus rapprochée de la source, puisque la divergence du pendule correspondant pourrait s'expliquer par l'attraction directe de celle-ci.

Pour éviter cette objection, Riess a employé un cylindre de laiton, muni d'un manche de verre, et armé, dans toute sa longueur, de petits pendules de moelle de sureau (fig. 869). Tenant le manche à la main, on présente verticalement le cylindre à une source électrique, par exemple à un gâteau de résine électrisé négativement. Les pendules divergent aussitôt; mais ici l'écart du pendule inférieur ne saurait être attribué à l'attraction de l'électricité de la résine, car cette attraction tendrait évidemment à maintenir le pendule vertical. Donc l'extrémité A est bien électrisée. On vérifie d'ailleurs, comme pour le cylindre horizontal, qu'elle est électrisée positivement, et B négativement.

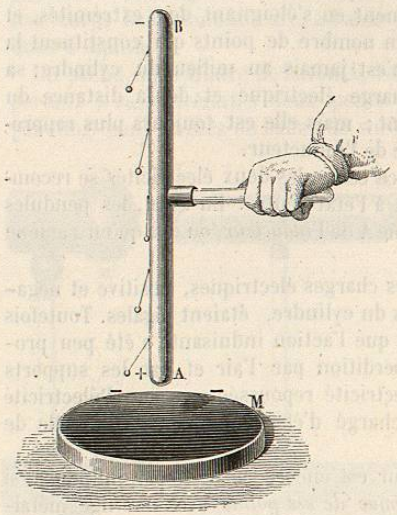

Fig. 869.

932. **Quantité d'électricité induite : théorème de Faraday.** — La quantité d'électricité induite dépend à la fois de la charge de l'inducteur et de l'étendue de surface de l'induit qui est en regard de l'inducteur. Elle est déterminée, dans le cas particulier où l'inducteur enveloppe complètement l'induit, par le théorème suivant, dû à Faraday :

Un corps conducteur électrisé, entouré complètement par un autre conducteur, y induit une quantité d'électricité contraire, qui est égale à sa propre charge.

Cette proposition, qui est fondamentale en électricité statique, peut se démontrer *à priori* par le calcul ; Faraday l'a vérifiée par l'expérience suivante.

Démonstration expérimentale. — On prend une cloche métallique renversée C, communiquant avec une espèce de pendule double E, qui sert d'électroscope (fig. 870). On fait ensuite descendre lentement dans la cloche une boule A, électrisée positivement, et suspendue à un fil isolant. Le double pendule diverge aussitôt, en indiquant une charge positive, conformément aux lois

de l'induction. La grandeur de la divergence indique à chaque instant la grandeur de la charge induite. On constate que l'écart augmente à mesure que la boule descend, jusqu'à une certaine profondeur pour laquelle on peut considérer l'inducteur comme complètement enveloppé par l'induit. A partir de ce niveau, la divergence reste constante, ce qui prouve que la charge induite a atteint son maximum. La divergence n'augmente pas davantage lorsque la boule arrive au contact des parois; or à cet endroit les électricités contraires de la boule et de la paroi interne se recombinent. Si la charge était supérieure en A, l'excès irait se réunir à la charge positive de l'électroscope de manière à en augmenter la divergence. Si, par hasard, la charge en A était inférieure, c'est l'excès de E qui passerait en partie sur la boule : alors la divergence diminuerait et l'on retirerait la boule encore électrisée. Or rien de tout cela n'a lieu : donc la charge induite était égale à la charge inductrice à partir du niveau où la divergence est devenue constante.

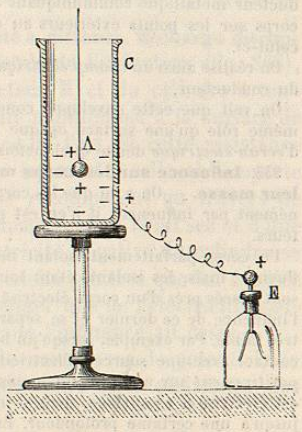

Fig. 870.

933. **Influence d'une surface électrisée fermée sur un point intérieur.** — La réciproque du théorème de Faraday n'est pas vraie : en effet, dans le cas où c'est l'inducteur qui enveloppe complètement l'induit, *il n'y a pas d'induction.* On a vu, en effet (903, I), que l'action d'une couche sphérique électrisée sur un point intérieur est nulle. Il en est de même d'une couche électrique quelconque en équilibre sur un conducteur.

Nous avons vu précédemment (904, I) les expériences par lesquelles Faraday a démontré ce fait.

934. **Conséquences du théorème de Faraday.** — 1° *Dans le cas d'un conducteur induit qui enveloppe complètement l'inducteur, la charge de l'induit ne varie pas lorsqu'on le met en communication avec le sol.*

En effet, d'après les phénomènes ordinaires de l'induction, on ne fait disparaître ainsi sur l'induit que l'électricité de même signe que la charge de l'inducteur. Or cette électricité, étant répandue à la surface externe de l'induit, n'exerçait aucune action sur un point intérieur : sa disparition ne peut donc avoir aucun effet sur la charge totale induite.

2° *Écran électrique.* — Lorsque l'induit a été mis en communication avec

le sol, il ne reste dans le système que les charges égales et contraires qui sont en présence. Leurs actions sur un point extérieur au système sont égales et de signe contraire, et par suite ont une résultante nulle.

Par conséquent, si l'on enveloppe, à distance, un corps électrisé par un conducteur métallique communiquant avec le sol, on supprime l'influence de ce corps sur les points extérieurs au conducteur, sans avoir besoin de décharger celui-ci.

On réalise ainsi un *champ électrique rigoureusement limité* à la paroi externe du conducteur.

On voit que cette enveloppe conductrice joue par rapport à l'électricité le même rôle qu'une surface opaque par rapport à la lumière : de là le nom d'*écran électrique* donné quelquefois à ce conducteur.

935. **Influence sur les corps mauvais conducteurs, pénétration dans leur masse.** — On a vu que les corps bons conducteurs s'électrisent instantanément par influence; il n'en est pas de même des corps mauvais conducteurs.

Un corps parfaitement isolant ne pourrait pas du tout s'électriser par influence; mais, les isolants étant toujours plus ou moins conducteurs lorsqu'ils sont placés près d'un corps électrisé, leurs deux électricités cèdent peu à peu à l'influence de ce dernier et se séparent; seulement l'action est très lente et très faible. Par exemple, lorsqu'un bâton de résine est laissé quelque temps en contact avec une source d'électricité positive, on remarque qu'il est électrisé *positivement* sur une plus ou moins grande étendue. De plus, non seulement il est électrisé à sa surface, mais sa masse paraît être pénétrée par l'électricité jusqu'à une certaine profondeur. En effet, si on le frotte avec de la laine, il s'électrise d'abord *négativement;* puis il repasse peu à peu à l'état neutre et enfin l'électricité positive reparaît. Cela prouve que l'électricité de la machine, ayant pénétré dans la résine jusqu'à une certaine profondeur, revient à la surface et la ramène successivement à l'état neutre, puis à l'état positif.

Expérience de Faraday. — Faraday a démontré ce phénomène de la manière suivante. Sur les deux faces opposées d'un bloc épais de blanc de baleine C (fig. 871) sont appliqués deux minces plateaux de laiton, communiquant par

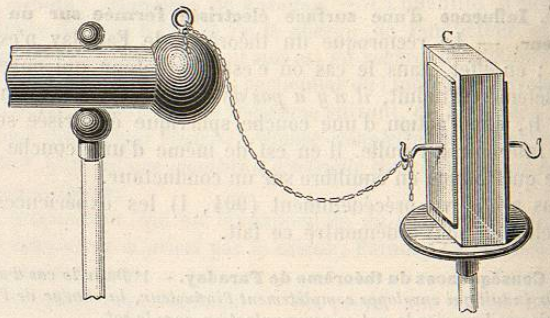

Fig. 871

deux cordons, l'un avec une source d'électricité positive, l'autre avec le sol. Après un contact de dix minutes environ avec la source, on enlève les deux cordons et on constate que les plateaux sont électrisés, le premier positivement et le second négativement. Or, si on les ramène ensuite à l'état neutre en les

touchant successivement avec le doigt, on observe qu'au bout de quelques instants le plateau placé du côté de la source est redevenu positif et l'autre négatif. Il faut en conclure que l'électricité de la source avait pénétré dans le blanc de baleine, tandis que dans la face opposée pénétrait l'électricité négative attirée par influence, et que ce sont ces électricités qui reparaissent sur les plateaux.

936. **Communication de l'électricité à distance, décharge disruptive.** — Dans l'expérience fondamentale de l'induction (fig. 868), les électricités contraires du conducteur M et du cylindre A tendent à se réunir, et elles ne restent maintenues à la surface de ces deux corps que par la résistance de l'air. Si cette résistance diminue, ou si la tension électrique augmente, celle-ci l'emporte sur celle-là, et les deux fluides se recomposent au travers de l'air : cette recomposition est accompagnée d'un bruit sec et d'une étincelle plus ou moins vive. L'électricité négative du cylindre se trouvant ainsi neutralisée par l'électricité positive que lui a cédée la source, il ne reste plus sur le premier que de l'électricité positive; il la conserve d'ailleurs, quoique l'influence ait cessé.

Quant à la *distance explosive*, elle varie avec le potentiel, la forme des corps, leur pouvoir conducteur, et la résistance des milieux interposés.

La décharge qui se produit avec étincelle et avec bruit se désigne sous le nom de *décharge disruptive*, pour la distinguer de la *décharge silencieuse* qui s'opère entre un corps électrisé et le sol, lorsqu'ils sont mis en communication par un conducteur.

937. **Mouvements des corps électrisés.** — Les mouvements d'attraction et de répulsion qui se produisent entre les corps électrisés s'expliquent aisément par l'influence électrostatique. En effet, soit un corps fixe M (fig. 872) que nous supposerons électrisé positivement, et un corps mobile N, placé à une petite distance du premier; on peut considérer trois cas :

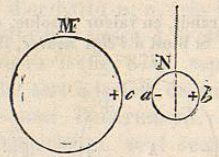

Fig. 872.

1° *Le corps mobile est conducteur et à l'état neutre.* — Dans ce cas, le corps M, agissant par influence sur l'électricité neutre du corps N, attire l'électricité négative et repousse la positive, de sorte que le maximum de densité des deux électricités a lieu respectivement aux points *a* et *b*. Or, les actions électriques s'exerçant en raison inverse du carré de la distance, l'attraction entre les points *a* et *c* l'emporte sur la répulsion entre les points *b* et *c*, et le corps mobile, s'il est *suffisamment léger*, s'approche du corps fixe par l'effet d'une résultante égale à l'excès de la force attractive sur la force répulsive.

2° *Le corps mobile est conducteur et électrisé.* — Si le corps mobile est chargé d'une électricité contraire à celle du corps M, il y a toujours attraction; s'il est chargé de la même électricité, il y a répulsion pour une certaine distance. Mais plus près il peut y avoir attraction. En effet, outre l'électricité libre que contient déjà le corps mobile, il contient aussi de l'électricité neutre, et, celle-ci étant décomposée par l'influence positive du corps M, l'hé-

misphère b reçoit une nouvelle quantité d'électricité positive, pendant que l'hémisphère a se charge d'électricité négative ; il y a donc, comme dans le cas précédent, attraction et répulsion. La seconde force l'emporte d'abord sur la première, parce que la quantité d'électricité positive sur le corps N est plus grande que la quantité d'électricité négative; mais, l'intervalle ac diminuant, la force attractive croît plus vite que la force répulsive et peut finir par l'emporter sur celle-ci.

3° *Le corps mobile est isolant et électrisé.* — Si le corps mobile est mauvais conducteur et électrisé, il est repoussé ou attiré, selon qu'il est chargé de la même électricité que le corps fixe ou d'une électricité contraire. S'il est d'abord à l'état naturel, son fluide neutre peut être décomposé à la longue par l'influence du corps M, si ce dernier est suffisamment électrisé, et alors il y a attraction.

938. **Théorie de l'influence électrostatique.** — Nous avons défini plus haut le potentiel V d'un conducteur. En général, le conducteur *n'est pas isolé :* il se trouve dans un champ électrique, par lequel il est influencé. Dans ce cas son potentiel dépend à la fois de sa charge propre et des masses électriques disséminées dans le champ : il faut donc tenir compte de ces masses dans l'évaluation du potentiel. Soient donc $\left(\frac{q}{r}+\frac{q_1}{r_1}+\ldots\right)$ la somme des termes relatifs à la charge propre du conducteur et $\left(\frac{q'}{r'}+\frac{q'_1}{r'_1}+\ldots\right)$ la somme des termes relatifs aux masses électriques du champ; on a dans le cas général

$$V=\Sigma\left(\frac{q}{r}\right)+\Sigma\left(\frac{q'}{r'}\right).$$

Supposons toutes ces masses électriques (q') réunies sur un conducteur unique B (fig. 873). Si B est chargé *positivement*, le potentiel en A sera plus grand que si A était isolé, et il sera d'autant plus grand que B est plus rapproché, car alors $\Sigma\frac{q'}{r'}$ est formé de termes positifs, d'autant plus grands que les distances r' sont plus petites. Si B est chargé *négativement*, le potentiel de A sera diminué par suite de la proximité de B, et d'autant plus que B est plus rapproché, car alors les termes $\frac{q'}{r'}$ sont tous négatifs et d'autant plus grands, en valeur absolue, que les distances r' sont plus petites.

Si B est *à l'état neutre*, il subit le *phénomène d'influence* (fig. 873) dès qu'il est suffisamment rapproché de A; son fluide neutre est décomposé, le fluide négatif attiré dans la région voisine de A et le fluide positif repoussé en quantité égale dans la région opposée. Il en résulte 1° que le potentiel, qui était d'abord nul en B, prend une certaine valeur positive; 2° que le potentiel est diminué en A, car le fluide négatif de B agit en A à une distance moindre que le fluide positif, et par suite la somme $\Sigma\left(\frac{q'}{r'}\right)$ est une somme algébrique où les termes positifs sont plus grands que les termes négatifs.

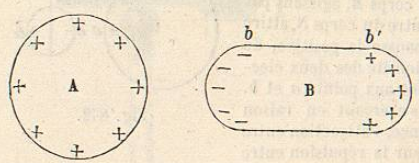

Fig. 873.

Si l'on mettait un point quelconque de B en communication avec la terre, son potentiel deviendrait égal à celui de la terre, c'est-à-dire *nul*, et le potentiel de A diminuerait un peu (à cause de la disparition des termes positifs qui dans la somme $\Sigma\frac{q'}{r'}$ correspondaient au fluide positif de l'extrémité b').

CHAPITRE VI

ÉLECTROSCOPES ET ÉLECTROMÈTRES.

939. **Définitions.** — On a vu (882) qu'on nomme *électroscopes* de petits appareils qui servent à reconnaître si un corps est électrisé et quelle est la nature de son électricité. Le pendule électrique, à une balle ou à deux balles, est le plus simple des électroscopes. On en a imaginé beaucoup d'autres ; nous ne décrirons, pour le moment, que l'électroscope à feuilles d'or. Quant aux *électromètres*, ce sont des appareils beaucoup plus sensibles, qui servent à *mesurer* les charges électriques des conducteurs, soit directement, et à l'état même de quantité d'électricité (balance de Coulomb), soit indirectement, et en fonction de leur *potentiel* (électromètre de Thomson).

940. **Électroscope à feuilles d'or, ou à pailles.** — Le plus simple et le plus classique des électroscopes est l'*électroscope à feuilles d'or*, ou *électroscope à pailles*.

Description de l'appareil. — Il consiste essentiellement en une tige de laiton verticale, terminée en haut par une boule C de même métal, et en bas par deux feuilles d'or battu n, n, très légères, ou par deux pailles très minces. Cette tige passe à frottement dans le bouchon d'une cloche de verre B (fig. 874), reposant sur un plateau de laiton ; cette cloche sert à la fois de support *isolant* et d'enveloppe protectrice pour l'instrument. Le goulot de la cloche, ainsi que sa partie supérieure, sont recouverts d'un vernis à la gomme laque pour compléter l'isolement de la tige métallique.

Opération et théorie. — Lorsqu'on approche lentement du bouton un corps chargé d'une électricité quelconque, négative par exemple, cette électricité décomposant par influence le fluide neutre du conducteur, l'électricité positive est attirée dans la boule, et l'électricité négative repoussée vers les feuilles d'or. Celles-ci, se trouvant ainsi chargées de la même électricité, se repoussent mutuellement, et leur divergence prouve que le corps A est électrisé.