

Mancomunitat de Catalunya

EXTENSIO  
D'ENSENYAMENT  
T E C N I C



*TEXT N.º 26*

ELECTROSTATICA

PRELIMINARS

Carrer d'Urgell 187 Barcelona

Pa

QUADERN 26

ELECTROSTÀTICA

<u>Pàgina</u>	<u>Ratlla</u>	<u>On diu</u>	<u>Ha de dir</u>
6	27	1. Pells 2. Marfil 3. Vidre 4. Teixits de llana	1. Pells 2. Teixits de llana 3. Marfil 4. Vidre



# ELECTROSTÀTICA



## PRELIMINARS

1. L'ELECTRICITAT A TRAVÉS DELS TEMPS. —Els fenòmens elèctrics avui tan múltiples i variats, que en les innombrables aplicacions elèctriques de la vida moderna, s'ofereixen a totes hores davant dels nostres ulls, podem dir que eren completament desconeguts a l'antiguitat.

Conten que Thales de Milet, 600 anys abans de Jesucrist, va remarcar la propietat que tenia l'ambre groc, després d'ésser fregat amb un drap de llana, d'atraure els cossos lleugers, com brins de palla, retalls de ploma, etc. Aquest fet era explicat com a una propietat especial de l'ambre.

El fenomen esmentat i els grandiosos de l'electricitat atmosfèrica amb els efectes esclatants del llamp, foren els únics que conegueren els antics, sense que tinguessin la sospita més lleugera de la idèntica causa o naturala, de fets aparentment tan diferents.

L'any 1600, Guillem Gilbert, amb els seus estudis demostra que la propietat de l'ambre, coneguda pels antics, era comuna a moltes altres substàncies.

Otto de Guericke, burgmestre de Magdeburg, construeix la primera màquina elèctrica de frotament, constituïda per una bola de sofre, que en girar s'electricitzava pel frotament de la mà de l'experimentador. En disposar de fonts més potents d'electricització pogué ampliar els estudis de les atraccions i repulsions i al mateix temps començar l'anàlisi de la forma i naturalesa de les guspies elèctriques.

A la segona meitat del segle XVIII són construïdes poderoses màquines d'electricitat estàtica a base de l'empleu de grans discos de vidre; Franklin demostra la igualtat de la naturalesa de l'electricitat atmosfèrica i de la produïda a les màquines estàtiques; i finalment, acaba aqueix segle amb els notables i trascendentals estudis de Volta i Galvani, inventor, el primer, de la primera pila elèctrica, les aplicacions de la qual obren el camp extens i fecund de l'electricitat en forma de corrent, fins aleshores completament inexplorat.

Al segle XIX són legió els savis físics que amb els seus descobriments i estudis van assentant els fonaments d'allò que ha d'ésser la ciència elèctrica. Hi veiem la invenció del telègraf i la instal·lació per tot el món d'una xarxa immensa de línies telegràfiques aèries, soterrànies i submarines. L'any 1876 Graham Bell inventa el telèfon, les instal·lacions del qual prenen d'una manera ràpida el desenrotllament que tots coneixem. Fins a l'últim terç del segle, Gramme i altres no comencen a construir les màquines dinamo-elèctriques de caràcter verament industrial, que a poc a poc han anat perfeccionant-se i emmotllant-se a les exigències de les aplicacions cada dia més nombroses i variades del corrent elèctric. Finalment, hem pogut presenciar en aquests últims anys la ràpida extensió de la meravellosa telegrafia sense fils, i és també un fet, avui, la invenció de la telefonía sense fils.

Per tot ço que acabem de dir, veiem que la ciència de l'Electricitat és filla del segle XIX, i encara durant molt temps solament ha estat cultivada per savis especialistes, de gabinet, apartats de la vida industrial. En canvi, de 40 anys ençà, han estat tants els progressos de les aplicacions elèctriques en totes les branques de la indústria, que han fet necessari l'estudi de la ciència elèctrica, no ja als especialistes, sinó a tots els tècnics industrials, des de l'enginyer al contramestre i a l'obrer, cadascú amb el grau d'intensitat apropiat a la seva cultura tècnica.

2. DEFINICIÓ I NATURESA DE L'ELECTRICITAT.— Donem el nom d'Electricitat a la causa dels fenòmens elèctrics. Aquesta defectuosa definició, que no ho és en realitat, és indicació de no conèixer certament la seva naturalesa.

L'electricitat no és altra cosa que una forma de l'energia, com ho són la llum, la calor i el magnetisme; i de la mateixa manera que el fenòmens lluminosos, tèrmics i magnètics, els fenòmens elèctrics s'expliquen com a resultat del moviment vibratori de l'èter.

L'èter és un fluid imponderable, perfectament elàstic, imperceptible per als nostres sentits, que ocupa tots els espais buits de l'univers, des dels immensos espais intersiderals als més petits intersticis existents entre els àtoms que constitueixen els cossos. Havem de considerar tots els cossos com si fossin submergits dins d'una atmòsfera d'èter, que penetra en els més petits espais intermoleculars i interatòmics; igual en els gasos i en els líquids que en els sòlids menys porosos.

Amb la hipòtesi de l'existència de l'èter, per ésser la llum, la calor i l'electricitat vibracions de diferent qualitat d'aquest fluid, té una explicació perfecta la seva transmissió a les més grans distàncies, de la mateixa manera que les ondes de l'aigua d'un estany transmeten a les vores el moviment que en un punt qualsevol ha originat la caiguda d'una pedra.

Totes les formes d'energia poden convertir-se en l'elèctrica; així com

aquesta es converteix també fàcilment en totes les altres. En una central elèctrica generadora, de vapor, l'energia en estat potencial, deguda a l'afinitat química de l'oxigen de l'aire pel carboni i els altres components del carbó de pedra, es converteix en energia tèrmica actual a la fogaina de la caldera, es transforma en mecànica a la màquina de vapor i en elèctrica a la dínamo, per a ésser transmesa, en aquesta forma, a la xarxa de distribució i punts de utilització, en els quals és destinada a la producció de llum, de calor, de força motriu, i a operacions electroquímiques.

Aquesta facilitat de transformació és demostració evident de la comunitat de origen de totes les formes de l'energia universal, que com la matèria, figura a l'univers, en quantitat fixa i immutable, puix l'acció de la naturalesa i la de l'home es limita a la simple transformació.

Afirmar que desconeixem la naturalesa exacta de la causa dels fenòmens elèctrics, que tractem d'explicar-nos per una hipòtesi o suposició, no vol dir que, a poc a poc, no s'hagin anat coneixent amb tota certesa les lleis a què obeeixen molts i molts d'aquests fenòmens. Tant és així, que en l'actualitat són construïts els aparells i màquines elèctriques amb exacta previsió dels seus resultats, obtenint rendiments altíssims que ni poden somniar-se a les altres branques de les construccions mecàniques.

Prescindint, doncs, del coneixement de la naturalesa de l'electricitat, podem realitzar labor molt profitosa amb l'estudi de les lleis que regeixen els fenòmens elèctrics i de les regles que l'experiència ensenya que cal afegir, per al millor coneixement d'instal·lacions, màquines i aparells elèctrics industrials a fi de poder intervenir degudament en la llur conducció, conservació, reparació i construcció.

**3. DIVISIÓ DE L'ELECTRICITAT.** — Els fenòmens elèctrics han estat classificats en dos grups: els electrostàtics i els electrodinàmics; estudiats respectivament a l'Electrostàtica i a l'Electrodinàmica.

Com indica el llur nom, en els fenòmens electrostàtics, l'electricitat apareix com en estat d'equilibri o de repòs, que si es romp és solament per breus instants.

En canvi, en els electrodinàmics, l'electricitat té en apariència l'estat de moviment, circulant en forma de corrent entre punts determinats.

En l'explicació, i de vegades en la simple enunciació dels fenòmens elèctrics, per a fer-los accessibles a la nostra intel·ligència, havem de recórrer sovint a imatges, com la que representa la locució tan usada de *corrent elèctric*. El sentit de la paraula corrent expressa el transport d'un fluid al llarg d'un canal, d'una tuberia, d'un conductor; cosa que no existeix en el corrent elèctric, on no havem de veure cap transport de matèria, sinó únicament la transmissió de les vibracions de l'èter, al llarg d'un conductor. Com veurem més endavant, l'assimilació del corrent elèctric a un corrent hidràulic, ens facilita extraordinàriament la comprensió

i demostració de les lleis que la regeixen. Havem, doncs, de perdonar aquestes incorreccions del llenguatge vulgar i fins del científic, si resulten en benefici de l'esclarament dels conceptes.

## PRINCIPIS FONAMENTALS

4. ELECTRITZACIÓ PER FROTAMENT.— Com ja havem dit (n.º 1), encara que tot desconeixent la seva causa, era coneguda des de molt antic la propietat que tenia l'ambre groc, després d'ésser fregat amb un drap de llana, d'atraure els petits cossos lleugers, com brins de palla, retalls de plomes, etc., etc. Aquesta propietat no és exclusiva de l'ambre; són molts els cossos que també la tenen, com el vidre, la resina, el sofre, el lacre, la seda, l'ebonita, etc. Es un fenomen que ens és molt fàcil de reproduir, si disposem d'un objecte d'ambre; fregant-lo amb la màniga del vestit, veurem com després atrau, des d'una certa distància, els trossets de paper.

La propietat adquirida pels cossos esmentats després d'ésser fregats amb un drap de llana o amb una pell de gat, no la tenien a l'estat natural; un cop la tenen, diem que estan *electritzats* o que han pres una *càrrega elèctrica*.

5. PÈNDOL ELÈCTRIC.— Per conèixer si un cos és o no és electritzat, ens podem valer d'uns petits instruments anomenats *electroscopis*; un dels

més senzills és el *pèndol elèctric*. Consisteix en una petita bola de medul·la de saüc, sospesa per un fil de seda d'un suport amb peu de vidre. (fig. 1).

Si acostem a la bola del pèndol un cos en estat natural, la bola no farà cap moviment i el fil continuarà en línia vertical. En canvi, si el cos és

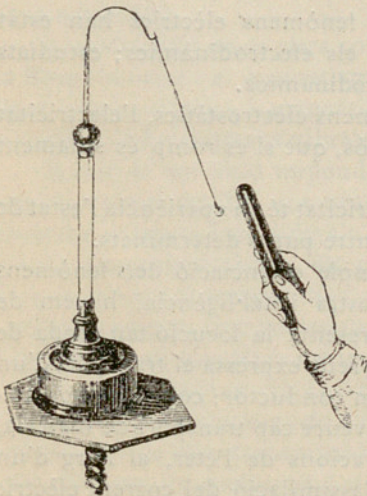


Fig. 1

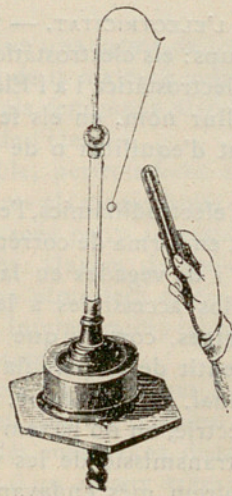


Fig. 2

electritzat, com, per exemple, una barra de resina després d'ésser fregada amb un drap de llana, veurem que la bola es fortament atreta (fig. 1) fins que arriba a tocar a la barra; després del contacte, és repel·lida amb una força semblant (fig. 2).

Podem emprar també un pèndol elèctric doble, com el de la figura 3. En aquest cas, en acostar la barra electritzada, les boles del pèndol seran també atretes, i després del contacte repel·lides; però demés d'aixó, en retirar la barra de la proximitat del pèndol, veurem que les boles no tornena pendre la posició vertical, sinó que divergeixent, repel·lintse l'una a l'altra, com indiquen les línies de traços de la fig. 3.

Si en aquesta situació toquem les dues boles amb la mà, tornaran a caure i ajuntar-se, i els fils de seda quedaran verticals.

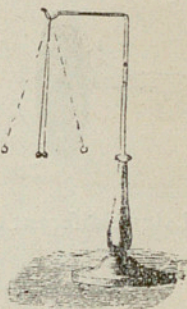


Fig. 3

6. EXISTÈNCIA DE DUES CLASSES DE CÀRREGA ELÈCTRICA.—Acabem de veure que la bola de medul·la de saüc del pèndol elèctric és repel·lida després d'haver tocat la barra de resina electritzada que l'havia atreta. Aquest fenomen es repeteix per a tots els cossos electritzats.

En canvi, si després d'ésser repel·lida la bola per una barra electritzada de resina, hi acostem una barra electritzada de vidre, veurem que la bola serà atreta.

Dues conseqüències podem deduir d'aquets fets:

Que la bola de medul·la de saüc, en arribar a tocar la barra de resina, s'ha electritzat, per contacte, amb una càrrega elèctrica d'igual classe; i que aqueixes dues càrregues elèctriques es repel·leixen.

Que la càrrega elèctrica de la barra de vidre ha de ésser forçosament d'una altra classe que la de la barra de resina, ja que atrau la bola que l'altre repel·leix.

Els antics anomenaven *electricitat resinosa* la desenrotllada a la barra de resina i *electricitat vítria* la de la barra de vidre. Modernament es designada per *positiva* la càrrega elèctrica de la barra de vidre; i per *negativa* la de la barra de resina.

Si ens fundem en els fets examinats, podem assentar els dos principis següents:

*Dues càrregues elèctriques del mateix nom es repel·leixen.*

*Dues càrregues elèctriques de nom contrari s'atrauen,*

7. PRODUCCIÓ SIMULTÀNIA DE DUES CÀRREGUES ELÈCTRiques.—És impossible obtenir una càrrega elèctrica determinada sense que al mateix temps se'n produeixi una altra d'igual, del nom contrari. Així, quan freguem una barra de vidre amb un drap de llana, el vidre s'electritza posi-

tivament i la llana negativament. De la mateixa manera, si la barra fregada pel drap de llana és de resina, aquesta s'electricitza negativament i la llana positivament.

Aquest fet pot ésser demostrat pràcticament per medi de dos discos :

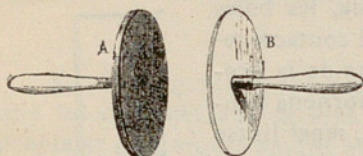


Fig. 4

un de vidre i l'altre de fusta o metall, recobert amb franela; tots dos amb mànecs isoladors de vidre (fig. 4). Fregats vivament l'un amb l'altre, i separats després bruscamment; en ésser presents successivament a la bola d'un pèndol elèctric, carregada anteriorment, per contacte, amb una càrrega de sentit conegut, un l'atraurà i l'altre la repel·lirà; i així serà comprovat

el signe diferent de les càrregues dels dos discos.

8. **SIGNE DE LA CÀRREGA ELÈCTRICA, EN L'ELECTRITZACIÓ PER FROTAMENT.**—Quan dos cossos diferents estan simplement en contacte, l'un pren una càrrega elèctrica d'un signe i l'altre del signe contrari. El frotament entre els dos, en fer més íntim el contacte entre les dues superfícies, afavoreix l'electricització. El signe de la càrrega elèctrica presa per un cos en l'electricització per frotament, no depèn solament de la seva naturalesa, sinó que també depèn de la naturalesa de l'altre cos amb qui frega. Així, havem vist que la llana s'electricitza negativament en fregar amb una barra de vidre i positivament en fregar amb una barra de resina. Donem a continuació els noms d'alguns cossos, ordenats de tal manera, que cada un d'ells es carrega positivament quan se frega amb un dels cossos que el segueixen, i negativament amb els que el precedeixen.

#### TAULA I

1. Pells	8. Fustes
2. Marfil	9. Metalls
3. Vidre	10. Lacre
4. Teixits de llana	11. Resines
5. Teixits de cotó	12. Sofre.
6. Teixits de seda	13. Gutaperxa
7. Cos humà.	

9. **EQUIVALÈNCIA DE LES CÀRREGUES ELÈCTRIQUES DE NOM CONTRARI.**—Les càrregues elèctriques desenrotllades en cada un dels cossos que es freguen són equivalents, i en ajuntar-se es neutralitzen l'una a l'altra.

Si després d'haver fregat fortament els dos discos de la fig. 4, els presentem, sense separar-los, a un pèndol elèctric, no notarem cap efecte:

d'atracció ni de repulsió. Sabem, en canvi, que separant-los y presentant-los successivament al mateix pèndol, es faran aparents les càrregues de nom contrari de cada un dels discos. La falta d'acció exterior dels dos discos junts, demostra clarament que les dues càrregues són equivalents i per això es neutralitzen en ajuntar-se.

**10. COSSOS BONS CONDUCTORS, MALS CONDUCTORS I ISOLANTS.**—Si agafem una barra una mica llarga, de vidre, i la freguem amb un drap de llana, solament en una part de la seva longitud, podrem comprovar, per medi del pèndol elèctric o d'un altre electroscopi, que únicament està electritzada la part fregada, sense donar la resta de la barra cap signe d'electrització. Igual ens passarà amb una barra de resina o de lacre.

En canvi, per un sens fi d'experiments, que podem realitzar amb tots el metalls, veiem que en tals cossos la càrrega elèctrica obtinguda en un punt determinat es comunica de seguida a tota la superfície.

L'examen d'aquets fets, ens indica, que hi ha un cert nombre de cossos, com els metalls, els quals ofereixen una resistència molt petita al pas de les càrregues elèctriques, i són anomenats *bons conductors*, i uns altres, com la resina i el vidre, que presenten una resistència molt gran, i per això son anomenats *mals conductors*.

Quan dos cossos bons conductors estan reparats per un tercer molt mal conductor, es troben elèctricament isolats un de l'altre, i per aquest motiu els cossos molt mals conductors són anomenats *isolants* o *isoladors*.

La terra, composta de substàncies més o menys bones conductores de l'electricitat, és un veritable dipòsit comú per a tota mena de càrregues elèctriques. Així com en el mar no s'hi coneix l'ingrés diari dels molts milions de metres cúbics aportats per tots els rius de la terra, ni tampoc les enormes pèrdues per evaporació; de la mateixa manera, al contacte amb la terra, s'anul·len totes les càrregues elèctriques, i queden els cossos que les posseïen en estat neutre o natural. Això és el que passa a les dues boles electritzades del doble pèndol elèctric (fig. 3), quan un les toca amb la mà, com dèiem en el n.º 5.

Per mantenir una càrrega elèctrica en els cossos bons conductors, cal, doncs, isolar-los de la terra amb l'empleu d'isolants o isoladors. D'aquí ve l'ús de peus y mànecs de vidre i la suspensió per fils de seda, que veiem en els aparells de les figures 1, 2, 3 i 4.

La divisió dels cossos en bons i mals conductors, cal entendre-la d'una manera relativa. No existeix cap cos tan bon conductor que no ofereixi alguna resistència al pas de les càrregues elèctriques; com tampoc n'existeix cap de tan mal conductor que pugui ésser considerat com un isolant perfecte. Demés, en quasi tots els cossos té influència molt especial la temperatura i també l'estat físic.

A continuació donem una taula en la qual diferents cossos estan

ordenats en relació amb la seva conductibilitat; classificats en tres grups: bons conductors, mitjanament conductors i molt mals conductors o isoladors. Comença per l'argent, que és el millor conductor conegut, i acaba amb l'aire sec, que és el millor isolant.

## TAULA II

### CONDUCTORS I ISOLADORS

#### *Bons conductors*

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1. Argent         | 5. Plombagina   |
| 2. Coure          | 6. Terra humida |
| 3. Altres metalls | 7. Aigua        |
| 4. Carbó vegetal  |                 |

#### *Mitjanament conductors*

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 8. El cos humà | 10. Fusta seca |
| 9. Cotó        | 11. Marbre     |

#### *Mals conductors o isoladors*

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 12. Olis        | 20. Vidre     |
| 13. Paper       | 21. Cera      |
| 14. Porcel·lana | 22. Sofre     |
| 15. Llana       | 23. Resina    |
| 16. Seda        | 24. Ambre     |
| 17. Cautxú      | 25. Parafina  |
| 18. Ebonita     | 26. Goma laca |
| 19. Mica        | 27. Aire sec  |

## ACCIONS ENTRE LES CÀRREGUES ELÈCTRIQUES

11. LLEIS DE COULOMB. — Sabem, pel que ja havem vist en el n.º 6, que dues càrregues elèctriques del mateix nom es repel·leixen, i s'atrauen, en canvi, si són de nom contrari. Veiem, ara, com varia la valor d'aquestes atraccions i repulsions.

LLEI DE LES DISTÀNCIES. — *La força d'atracció o repulsió exercida entre dos petits cossos electritzats, amb determinades càrregues electrostàtiques, mantingudes constants, varia en raó inversa del quadrat de la distància entre els dos cossos.*

Això és, que si els esmentats cossos electritzats, estan, per exemple, situats l'un de l'altre a la distància d'un centímetre, i s'atrauen amb la unitat de força, aquesta força seria  $\frac{1}{4}$  solament, per a una distància de 2 centímetres; o  $\frac{1}{9}$  per a una de 3 centímetres.

LLEI DE LES MASSES. — *A distància igual, les forces d'atracció o repulsió exercides entre dos cossos electritzats, són directament proporcionals al producte de les seves masses elèctriques, o sigui de les quantitats d'electricitat corresponents a les seves càrregues.*

Per exemple: si un dels cossos té una càrrega elèctrica de 4 unitats, i l'altre de 6, la força que actua entre ells és 24 vegades més gran que si cada un dels dos cossos tingués solament una càrrega de 1 unitat.

Aquestes dues lleis poden ésser traduïdes en la senzilla fórmula següent:

$$F = \frac{Q \times Q'}{d^2}$$

en la qual  $F$  és la força exercida entre els dos cossos electritzats;  $Q$  i  $Q'$  les quantitats d'electricitat corresponents a les càrregues elèctriques de cada un dels dos cossos, i, finalment,  $d$  la distància entre els dos cossos.

12. LLEUGERA IDEA DEL SISTEMA D'UNITATS C. G. S. — Per expressar les diferents magnituds físiques, ens podem valer d'unitats arbitràries i independents les unes de les altres. Això és el que fem ordinàriament quan és qüestió de mides isolades. Però en la ciència moderna, a mesura que han pogut ésser estudiats més i més a fons els fenòmens físics, ha calgut, per a la seva traducció en valors numèriques, basar-se en un sistema únic d'unitats *fonamentals*, de les quals es dedueixen totes les *derivades*.

Les unitats fonamentals escollides són:

El *centímetre*, per unitat de longitud.

La massa del *gram*, per unitat de massa.

El *segon*, per unitat de temps.

D'aquí ve la denominació de «Sistema d'unitats C. G. S.», lletres inicials del nom de les unitats fonamentals.

El centímetre és, com sabem,  $\frac{1}{1,000,000,000}$  d'un quadrant del meridià terrestre; o més rigorosament  $\frac{1}{100}$  del metre tipus conservat a l'establiment internacional de Sevres (França).

El gram representa la massa d'un centímetre cúbic d'aigua destil·lada a la temperatura de  $4^{\circ}$  centígrades. És guardat, també a Sevres, un quilo-gram tipus.

El segon, és  $\frac{1}{86,400}$  del dia solar mitjà.

Dintre del sistema C. G. S., la *unitat derivada*, de *superfície*, serà el

centímetre quadrat; la de *volum*, el centímetre cúbic; la de *velocitat*, 1 centímetre per segon; la d'*acceleració*, 1 centímetre per segon, per segon; etcètera.

La unitat de *força* serà la força que actuant sobre la unitat de massa, li comunicui la unitat d'acceleració. Això és: la força que actuant sobre la massa de 1 gram, li comunicui una acceleració de 1 centímetre per segon, per segon. A aquesta força, li han donat el nom de *dina*.

En la pràctica, solem usar com a unitat de força el pes del gram i els seus múltiples. A la nostra latitud geogràfica, la força representada pel pes de 1 gram, comunica a la massa de 1 gram; una acceleració de 9,81 metres per segon, per segon, o siguin 981 centímetres. El pes de 1 gram és, doncs, 981 vegades més gran que 1 dina, i per consegüent

$$1 \text{ dina} = \frac{1}{981} \text{ grams}$$

Sabem que el *treball mecànic* és el producte de la valor d'una força, pel camí recorregut pel seu punt d'aplicació, en la direcció de la força. La *unitat de treball*, en el sistema C. G. S., serà el treball executat per 1 dina, quan el seu punt d'aplicació hagi recorregut, en el sentit de la força, la distància de 1 centímetre. Aquesta unitat ha estat denominada *erg*.

En la pràctica, és usat com a unitat de treball el quilogràmetre; o sigui el treball produït pel pes de 1 quilogram, caient de l'alçada de 1 metre. Vejam, ara, la relació que hi ha entre el quilogràmetre i l'*erg*, que també podríem anomenar dina-centímetre.

$$\begin{aligned} 1 \text{ metre} &= 100 \text{ centímetres} \\ 1 \text{ quilogram} &= 1,000 \text{ grams} = 981,000 \text{ dines} \\ 1 \text{ quilogram} \times 1 \text{ m.} &= 981,000 \text{ dines} \times 100 \text{ cms.} = 98.100,000 \text{ dina-centímetres} \end{aligned}$$

o el que és igual

$$1 \text{ quilogràmetre} = 981 \times 10^5 \text{ ergs}$$

Havem volgut fer conèixer la *dina* i l'*erg*, i la seva valor relativa amb la de les unitats usades comunament, perquè tardarem molt poc a tenir-hi de fer referència.

Així com acabem de veure que en la mecànica pràctica hom no sol usar, per als càlculs ordinaris, les unitats teòriques del sistema C. G. S., així també, en electricitat, veurem que per a moltes magnituds elèctriques farem ús ordinàriament d'unitats pràctiques, que són múltiples o submúltiples, de les unitats teòriques del sistema C. G. S.

**13. UNITAT ELECTROSTÀTICA DE QUANTITAT D'ELECTRICITAT O UNITAT DE CÀRREGA.** — Si en la fórmula del n.º 11

$$F = \frac{Q \times Q'}{d^2}$$

fem  $F = 1$  dina;  $d = 1$  centímetre; i  $Q = Q'$ , aleshores  $Q = Q' = 1$

La unitat electrostàtica, teòrica, C. G. S., de càrrega o de quantitat elèctrica és: *La quantitat d'electricitat, que situada a la distància de 1 centímetre d'una altra quantitat igual i del mateix signe, la repel·leix amb la força d'una dina.*

En la pràctica, aquesta unitat resulta massa petita, i empleem comunament la unitat denominada *culomb*, que és 3,000.000,000 vegades més gran. Així

1 culomb =  $3 \times 10^9$  unitats C. G. S. electrostàtiques de quantitat

A l'Electrodinàmica, tornarem a trobar aqueixa unitat, de la qual ens ocuparem amb més extensió.

La denominació de *culomb* és en homenatge del físic Coulomb, descobridor de les lleis que porten el seu nom. Com anirem veient, són moltes les unitats elèctriques i magnètiques que porten el nom de físics i electricistes eminents.

**14.** APLICACIÓ DE LES LLEIS DE COULOMB. — Per fer comprendre millor els conceptes explicats, posarem alguns exemples :

*Exemple I.* Tenim dos petits cossos electritzats, situats a la distància de 4 centímetres, i carregat l'un, amb 8 unitats electrostàtiques C. G. S., i l'altre, amb 6 unitats, tots dos d'electricitat positiva, ¿quina serà la força que actuarà entre els dos?

Aplicant la fórmula (1) del n.º 11, tindrem

$$F = \frac{Q \times Q'}{d^2} = \frac{8 \times 6}{4 \times 4} = 3 \text{ dines}$$

Com que les dugues càrregues són positives, la força és de repulsió (n.º 6).

*Exemple II.* Suposem dos petits cossos electritzats: l'un, amb una càrrega de 4 unitats electrostàtiques C. G. S., de quantitat d'electricitat positiva, i l'altre amb 6 unitats d'electricitat negativa; trobar la valor de la força que actua entre ells, distant 2 cms.

$$F = \frac{Q \times Q'}{d^2} = \frac{(+4) \times (-6)}{2 \times 2} = 6 \text{ dines}$$

Per ésser contrari el signe de les dugues càrregues, ja sabíem que la força era d'atracció (n.º 6). En l'aplicació de la fórmula del n.º 11, les forces d'atracció han d'aparèixer amb el signe —.

*Exemple III.* Suposem dugues càrregues negatives, d'una valor respectiva, de 5 y 15 unitats electrostàtiques C. G. S.; essent la distància dels cossos electritzats, 5 centímetres. Trobar la valor de la força que actua entre ells.

$$F = \frac{Q \times Q'}{d} = \frac{(-5) \times (-15)}{5 \times 5} = (+3) \text{ dines}$$

Per ésser les càrregues elèctriques del mateix signe, la força és de repulsió. També ens ho indica el signe + del resultat.

## INFLUÈNCIA O INDUCCIÓ ELECTROSTÀTICA

**15. ELECTRITZACIÓ PER INFLUÈNCIA O INDUCCIÓ ELECTROSTÀTICA.**—En els números anteriors, havem vist dues maneres d'electritzar un conductor: directament per frotament, o per contacte amb un altre cos electritzat, però hi ha un tercer sistema, que es l'electrització a distància, i es realitza col·locant un conductor a l'estat neutre prop d'un cos electritzat. Aquest fenomen és conegut amb el nom d'*electrització per influència o inducció electrostàtica*. El cos que electritza per influència, és denominat *inductor*, i l'electritzat, *induït*.

Podem demostrar l'electrització per influència, amb els aparells de la figura 5.

Prenem un cilindre de llautó *A*, isolat sobre un peu de vidre, que

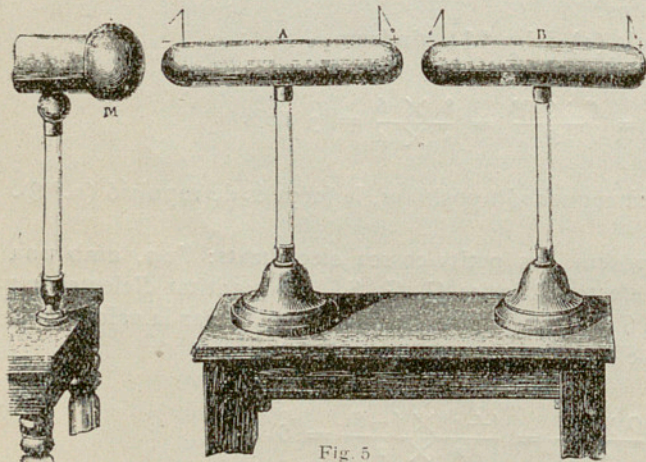


Fig. 5

porta als seus extrems dos petits pèndols elèctrics, formats per boles de medul·la de saüc sospeses per fil de cànem, que és bon conductor, i fixats al cilindre per barretes metàl·liques.

Si acostem, ara, al cilindre *A* un conductor *M*, electritzat positivament, els fils dels dos pèndols per-

dran la vertical, com indica la figura. Presentant una barra de resina electritzada negativament, a l'extrem del cos *A*, més pròxim a *M*, notarem una repulsió en el pèndol; indicant una càrrega elèctrica negativa. De la mateixa manera, amb una barra de vidre electritzada positivament presentada a l'extrem oposat, observarem també efectes de repulsió; demostrant que allí la càrrega és positiva.

Podem dir, per consegüent, que *un conductor electritzat per influència i isolat, posseeix en els seus extrems oposats dues càrregues elèctriques lliures de signe contrari.*

Entre les dues regions electritzades amb càrregues de signe contrari, ha de trobar-se necessàriament, una zona neutra. La seva posició depèn de la càrrega elèctrica i de la distància del cos inductor; però sempre és més a prop de l'inductor, que el plà mitjà de l'induit.

Es demostra l'existència de la zona neutra, amb l'aparell de la figura 6, que consisteix en un cilindre de llautó, proveït d'un mànec de vidre, i armat en tota la seva llargada amb petits pèndols elèctrics de boles de medul·la de saüc i fils de cànem. El cos inductor és una coca de resina, electritzada negativament. Posat el cilindre, en posició vertical, sobre la coca de resina electritzada, els pèndols prenen la posició que veiem a la figura 6, indicant perfectament la zona neutra. Per medi d'una barra de resina, o una de vidre, podríem veure que, igual com passava en el cilindre *A* de la fig. 5, la càrrega d'un extrem és de signe contrari a la de l'altra.

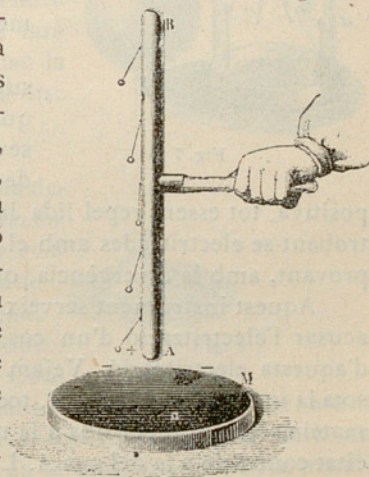


Fig. 6

Tan aviat com cessa la influència, allunyant o deselectritzant el cos *inductor*, el cos *induit* torna a l'estat neutre, la qual cosa prova que les dues càrregues elèctriques aparents als seus extrems, per la influència, eren iguals.

Quan un conductor isolat, electritzat per influència, és tocat amb el dit o amb una barreta metàl·lica en qualsevol punt, l'electricitat del mateix signe que la del cos *inductor* va a la terra, i la de signe contrari és atreta per la del cos *inductor*. En retirar o deselectritzar l'inductor, queda en el cos *induit*, la càrrega de signe contrari.

Un conductor electritzat per influència actua, també per influència, sobre els altres conductors pròxims; com ho demostren els pèndols elèctrics del conductor *B* de la fig. 5.

Si el conductor *A* de la figura 5 es pogués partir en dues parts iguals, i el partíem mentre està subjecte a la influència de *M*, cada una de les

parts quedaria amb una càrrega elèctrica lliure dels signes acusats abans de la separació. Aquestes càrregues continuarien després de l'allunyament o deselectrització de *M*.

16. ELECTROSCOPI DE FULLES D'OR.—L'electroscopi de fulles d'or (figura 7) és constituït per una tija de llautó vertical que acaba, per dalt, amb

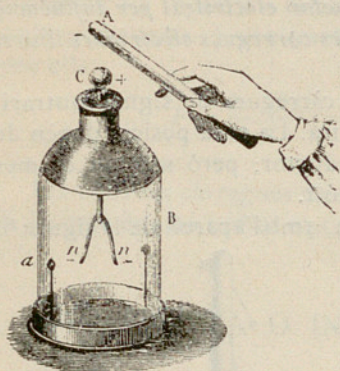


Fig. 7

una bola del mateix metall *C*, i per baix, amb dues fulles *n, n*, d'or batut, molt lleugeres. Aquesta tija passa justa pel tap d'una campana de vidre, que reposa sobre un plat de llautó, servint, la campana, de suport isolant i d'envolvent protectora de tot l'instrument. El coll de la campana, així com la seva part superior són envernissats, a fi d'augmentar l'isolament de la tija metàl·lica.

Quan s'acosta lentament a la bola o botó superior, un cos electritzat, amb càrrega de qualsevol signe, negatiu per exemple, per la seva influència, cessa l'estat neutre de la tija de llautó, i apareix en el botó una càrrega positiva, tot essent repel·lida la negativa envers les fulles d'or. Aquestes, trobant-se electritzades amb el mateix signe, es repel·leixen i es separen; provant, amb la divergència, que el cos *A* és electritzat.

Aquest instrument serveix no solament, com acabem de veure, per a acusar l'electrització d'un cos; serveix, també, per a determinar el signe d'aquesta electrització. Vejam de quina manera. Mentre l'instrument és sota la influència del cos *A*, toquem la bola *C* amb el dit; l'electricitat del mateix signe és repel·lida a la terra, quedant la bola carregada amb electricitat contrària a la del cos *A*. Las fulles d'or, que estaven separades, cauen aleshores, per trobarse tota la càrrega en *C*; però si apartem el dit i després el cos *A*, quedant la tija i les fulles electritzades positivament, aquestes, tornen a divergir. Si ara acostem a la bola *C* de l'electroscopi una barra de vidre electritzada positivament, veurem que augmenta la divergència de les fulles, a causa d'ésser repel·lida envers elles, l'electricitat del mateix signe desmenrotllada per la influència de la barra de vidre carregada positivament. Si el cos aproximat tingués una càrrega negativa, l'electricitat repel·lida envers les fulles seria negativa, neutralitzaria la càrrega positiva que tenien les fulles i disminuïria la divergència.

Per augmentar la sensibilitat de l'aparell, enganxarem en la part interior de la campana dues tires d'estany *a*, oposades l'una a l'altra, i les posarem en comunicació amb terra pel plat metàl·lic. Les tires s'electritzen per influència, carregant-se amb signe contrari de les fulles, ajudant amb la llur atracció la força de repulsió entre les fulles: És convenient posar

sota la campana una càpsula amb calç o cloruro càlcic, per dessecar l'aire.

**17. ACUMULACIÓ DE LES CÀRREGUES ELÈCTRIQUES A LA SUPERFÍCIE DELS CONDUCTORS.**—*Quan un cos conductor isolat està electritzat, positivament o negativament, la càrrega elèctrica s'acumula exclusivament a la superfície exterior.*

Podem comprovar experimentalment aquest fet amb l'aparell de la figura 8. Consisteix en una esfera buida de coure, oberta en la part superior i isolada sobre un peu de vidre. Electritzada l'esfera, per un medi qualsevol, si toquem la superfície exterior amb el disc de prova *C*, que és senzillament un petit disc metàl·lic muntat a l'extrem d'una barra de goma laca, el disc pendrà una càrrega elèctrica, que un electroscopi farà ostensible. Si, en canvi, toquem amb el disc la superfície interior de l'esfera electritzada, el disc quedarà en estat neutre.

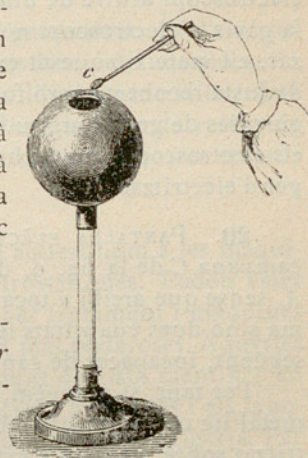


Fig. 8

**18. TEOREMA DE FARADAY.**—Faraday ha demostrat el teorema següent: *Un cos conductor electritzat rodejat completament per un altre conductor, hi indueix una quantitat d'electricitat de signe contrari, que és igual a sa pròpia càrrega.*

Amb l'aparell de la figura 9, podem comprovar experimentalment el teorema esmentat. Consisteix en una campana metàl·lica *C*, isolada, muntada boca per munt sobre un peu de vidre, i comunicant la seva superfície exterior amb un electroscopi de fulles d'or, *E*. Si introduïm en la campana una bola metàl·lica *A*, electritzada i sospesa d'un fil de seda, veurem que la separació de les fulles d'or, va augmentant a poc a poc, fins que la bola arriba a una certa profunditat, per la qual podem judicar que el cos inductor està completament rodejat pel cos induït. A partir d'aquest nivell, la separació de les fulles ja no augmenta, encara que arribem a tocar la campana *C* amb la bola *A*. Si admetem que la càrrega de *A* fos superior a la induïda en *C*, després del contacte, aquest excés de càrrega positiva passaria a l'electroscopi i augmentaria la divergència de les fulles, cosa que havem vist no passava. Si, al contrari, admetem que la càrrega induïda en *C* fos superior a la inductora

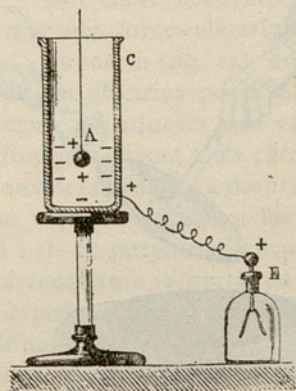


Fig. 9

en A, després del contacte, quedaria electrificada la bola A negativament. Com que la bola A surt de la campana en estat perfectament neutre, tampoc pot ésser veritat la segona hipòtesi. Queda, doncs, demostrat experimentalment el teorema de Faraday.

**19. INFLUÈNCIA D'UNA SUPERFÍCIE ELECTRIFICADA, TANCADA, SOBRE UN PUNT INTERIOR.**—La recíproca del teorema de Faraday, no és pas veritat; l'acció d'un conductor electrificat buit, és nul·la sobre un altre conductor situat a l'interior. Podem demostrar experimentalment aquest fet, tancant un electroscoopi dintre de una gàvia isolada, de fil ferro. Electrificant fortament la gàvia, l'electroscoopi no dona cap signe d'electrificació. Faraday va realitzar, ell mateix, aquesta experiència, tancant-se dintre de una gàvia cúbica de fusta recoberta amb fulles d'estany. Electrificades aquestes, fins a donar guspises de gran longitud, no va sentir la més petita commoció, ni tampoc els electroscoapis que hi havia dins de la gàvia van acusar l'indici més lleuger d'electrificació.

**20. PANTALLA ELÈCTRICA.**—Si posem en comunicació amb el sòl la campana C de la fig. 9, després de haver-hi introduït la bola electrificada A, sense que arribi a tocar les parets ni el fons, no quedaran en el sistema sinó dues quantitats iguals d'electricitat, de signe contrari, i per consegüent, incapaces de cap efecte exterior.

Per tant, si rodegem, a distància, un cos electrificat, per un conductor metàl·lic comunicant amb el sòl, queda suprimida la influència del cos electrificat sobre els punts exteriors al conductor envoltent. Aquesta envoltent conductora, fa, elèctricament, el mateix paper que una superfície opaca, per a la llum; d'això ve el nom de *pantalla elèctrica*.

**21. ELECTRÒFOR.**—Es anomenat així un aparell inventat per Volta, que és molt senzill i permet obtenir càrregues elèctriques d'alguna importància. L'aparell es compon de dues parts: una coca de resina fosa dintre d'un motllo metàl·lic, amb la superfície superior lliure, molt llisa; i un disc de fusta recobert amb fulles de estany, amb un mànec de vidre. Figs. 10 i 11.

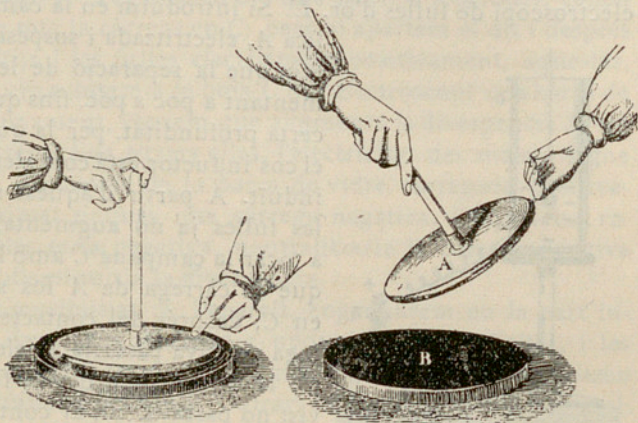


Fig. 10

Fig. 11

Veiem ara com funciona aquest aparell. Després d'assecar curosament la coca de resina i el disc, freguem vigorosament amb una pell de gat la superfície de la resina, que queda electritzada negativament. Posem el disc sobre la coca; aquesta, que és molt mala conductora, conserva l'electrització negativa, electritza per influència el disc, atraient la càrrega positiva a la cara de contacte i repel·lint sobre l'altra cara la càrrega negativa. Tocant el disc amb el dit (fig. 10), la càrrega negativa se'n va a la terra, i el disc queda electritzat positivament. En efecte, si l'aixequem amb una mà, pel mànec de vidre, i li acostem l'altra mà, saltarà una viva guspira (fig. 11).

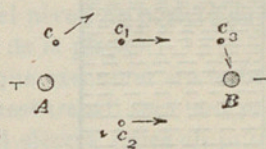
En realitat els fenòmens d'influència que es produeixen en l'electròfor, són una mica més complexos; hi intervé la constitució del motllo, puix cal, per al bon funcionament, no sols que el motllo sigui metàl·lic, sinó que estigui en comunicació amb el sòl. En aire sec, la coca de resina de l'electròfor, un cop electritzada, pot conservar la càrrega per uns quants mesos.

22. MÀQUINES ELECTROSTÀTIQUES. — Donem aquest nom a les màquines destinades a la producció de càrregues electrostàtiques. Poden ésser dividides essencialment en dos grups: màquines per frotament i màquines per influència; les últimes són les més modernes i més poderoses. Aquestes màquines, encara que molt interessants des del punt de vista científic, en general, queden limitades en el seu ús a les aplicacions mèdiques i als laboratoris de física, i no presten, fins ara, cap servei dintre de la indústria. Per això creiem que seria de poca utilitat la descripció d'alguns dels tipus principals.

## POTENCIAL ELÈCTRIC

23. CAMP ELÈCTRIC. — Entenem per *camp elèctric* una part de l'espai on actuen forces elèctriques.

Suposem (fig. 12), dos cossos electritzats, *A* i *B*; el primer, amb una càrrega elèctrica positiva, i el segon, amb una de negativa. Aquests dos cossos estan suficientment allunyats de tota altra càrrega elèctrica perquè pugui considerar-se com a despreciable, cap altra acció, que no sigui la deguda a les càrregues dels dos cossos *A* i *B*. Si portem a la proximitat de *A* un petit cos *c* carregat amb la unitat de càrrega elèctrica positiva, *c* estarà sol·licitat per la repulsió de *A* i per l'atracció de *B*. Les dues forces donaran una resultant, la direcció de la qual és indicada amb una sageta. Si el cos *c* és traslladat a qualsevol altre punt  $c_1$ ,  $c_2$ , la resultant pendrà les direccions indicades també per sagetes. En tots els punts del camp elèctric,



el cos  $c$  estarà sol·licitat per una força resultant de direcció i magnitud determinades. Si deixàvem que  $c$  es mogués lliurement, seguiria una trajectòria, que sortint de  $A$ , acabaria en  $B$ . Aquesta trajectòria, que en un camp elèctric, segueix la unitat de càrrega elèctrica positiva, és anomenada *línia de força elèctrica*.

En el camp elèctric degut a la presència de les dues càrregues elèctriques de  $A$  i  $B$ , totes les línies de força surten de  $A$ , per a acabar en  $B$ . El nombre de línies de força en un camp elèctric, és molt gran. Una idea de la seva distribució, la dóna la figura 13, tenint present, que una distribució semblant a la que veiem en el plan del dibuix, existeix en tots els plans que passen per la recta  $AB$ .

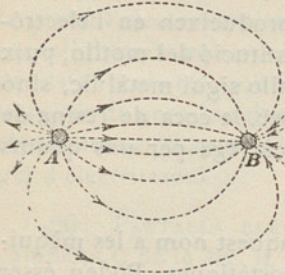


Fig. 13

**24. POTENCIAL ELÈCTRIC.** — Quan dos cossos electritzats, un amb una càrrega elèctrica positiva i l'altre amb una càrrega elèctrica negativa, són posats en comunicació per un fil metàl·lic, es produeix instantàniament un transport de la càrrega elèctrica positiva del cos  $A$  envers el cos  $B$  (figura 14), quedant tots dos amb una càr-

rega del mateix signe, que dependrà de la magnitud de les càrregues respectives.

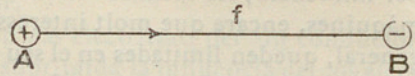


Fig. 14

Ha passat amb això un fenomen semblant al que es verifica quan posem en comunicació dos dipòsits  $A$  i  $B$  (fig. 15), amb aigua a diferent nivell, per mitjà d'una tuberia  $T$ , amb una aixeta  $C$ . Tan aviat com obrim l'aixeta, s'estableix un corrent de  $A$  a  $B$  al llarg de la tuberia  $T$ , que no

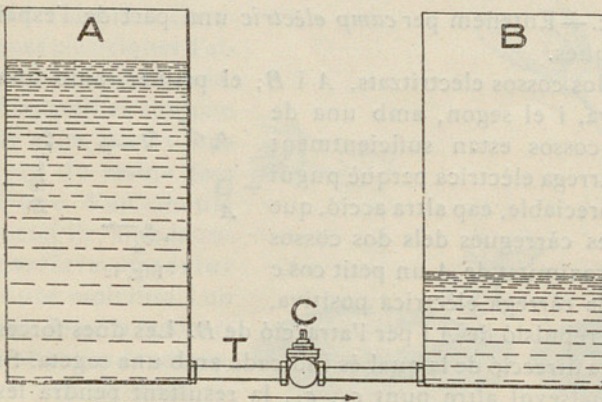


Fig. 15

pararà fins que sigui igual el nivell de l'aigua dels dos dipòsits.

En la unió dels cossos  $A$  i  $B$  (fig. 14), el fil  $f$ , ha fet el paper de la tuberia  $T$ , així com l'aire que els comunicava era l'aixeta tancada.

De la mateixa manera que la diferència de nivell o de pressió de l'aigua dels dos dipòsits ha estat la causa

del corrent dintre de la tuberia, així també la diferència de potencial elèctric o de pressió elèctrica entre *A* i *B*, és la causa determinant del transport de la càrrega elèctrica positiva de *A* envers *B*, al llarg del fil *f*.

**25. POTENCIAL ELÈCTRIC DE LA TERRA.**— Per a la mesura d'un nivell qualsevol, ens hem de referir a un nivell fix i invariable, escollit anticipadament com a terme de comparació. Tots sabem que aquest nivell *0* escollit i acceptat per tots, és el del mar, que dada l'enorme quantitat d'aigua amagatzemada, en relació amb les entrades i sortides, pot ésser considerat com a invariable.

De la mateixa manera ha estat triat com a nivell *0* del potencial elèctric, el potencial elèctric de la terra. Quan un cos està al potencial de la terra, diem que està en estat neutre; si el seu potencial és superior al de la terra, estarà electrilitzat positivament; i si és inferior, estarà electrilitzat negativament.

Per a mantenir el potencial elèctric d'un conductor electrilitzat, ja sigui per sobre o per sota del de la terra, cal l'isolament de l'esmentat conductor, per l'empleu d'isoladors o cossos isolants, intercalats entre ell i la terra, com ja dèiem en el n.º 10.

Perquè un corrent elèctric s'estableixi entre dos cossos electrilitzats, units per un fil metàl·lic, no fa falta que les càrregues elèctriques siguin de signe contrari; basta que entre els dos existeixi una diferència de potencial, perquè en posar-los en comunicació, circuli un corrent elèctric dirigit del cos amb major potencial al que el té més baix.

**26. TREBALL DEGUT ALS CANVIS DE POTENCIAL.**— Si en el camp elèctric determinat pels dos cossos electrilitzats *A* i *B* (fig. 12), en què *A* està a un potencial més alt que *B*, deixem moure's lliurement, des de les proximitats de *A*, un petit cos *c*, carregat amb la unitat de càrrega positiva, seguirà una trajectòria, que serà precisament la línia de força que passa pel punt de partida (n.º 23). En traslladar-se de *A* a *B*, el cos *c* passarà del potencial de *A* al de *B*; de la mateixa manera que si deixem caure una pedra desde dalt d'un campanar a la plaça de l'iglesia, el nivell de posició de la pedra ha passat del nivell de dalt del campanar, al de la plaça.

Si ara volem portar el cos *c*, de *B* a *A*, caldrà que executem un treball per a vèncer la repulsió de *A* i l'atracció de *B*. Aquest treball serà tant més gran, com més gran sigui la diferència de potencial elèctric entre els punts *A* i *B*.

Igual ens passaria en pujar la pedra, des de la plaça, a dalt del campanar; en la qual operació serà tant més gran el treball, com més gran sigui la diferència entre els dos nivells.

Podem, doncs, mesurar la diferència de potencial elèctric entre dos punts, per la valor del treball executat en el transport de la unitat de càr-

rega elèctrica positiva, des del punt de mes baix al de més alt potencial.

Això mateix podríem fer amb les diferències d'altura. Suposem que el pes de la pedra, de qué parlàvem, fos 1 quilogram; cada quilogràmetre gastat en l'elevació de la pedra, representaria una diferència de nivell de 1 metre.

En el sistema d'unitats C. G. S., podríem definir el centímetre dient: que és la diferència de nivell que existeix entre dos punts quan per a transportar un pes de 1/981 grams (1 dina), del punt més baix al mes alt, havem d'executar un treball de 1 erg (o 1 dina-centímetre).

Així com acabem de veure que per a transportar un petit cos electritzat, amb la unitat de càrrega elèctrica positiva, des del punt *B* al punt *A*, havem d'executar un treball, en el transport en sentit contrari, de *A* a *B*, de major a menor potencial, la unitat de càrrega elèctrica positiva desenrotllarà un treball igual al que abans havia exigít; treball que podríem aprofitar amb un receptor apropiat.

Continua aquí la semblança amb els fenòmens deguts a la gravetat. La pedra, en caure del campanar a la plaça, produeix un treball que podríem perfectament aprofitar en un mecanisme dispostat per a aquest objecte.

27. UNITAT ELECTROSTÀTICA C. G. S. DE POTENCIAL.—Pel que acabem de dir, la unitat electrostàtica C. G. S. de potencial és: *la diferència de potencial elèctric entre dos cossos, quan el transport de la unitat de càrrega elèctrica positiva, des del de més baix al de més alt potencial, exigeix el treball de 1 erg.*

28. UNITAT PRÀCTICA DE DIFERENCIA DE POTENCIAL.—La unitat pràctica de diferència de potencial és el *Volt*. La valor d'una unitat electrostàtica C. G. S. és igual a 300 volts; ço que és igual

$$1 \text{ volt} = \frac{1}{300} \text{ unitats C. G. S.}$$

Quan en un cos electritzat creix la càrrega elèctrica, creix també son potencial. No obstant, dos conductors electritzats, al mateix potencial, poden tenir càrregues elèctriques molt diferents. Aquestes depenen, demés del potencial, de la *capacitat* dels conductors, de la qual parlarem ben aviat.

Ès una cosa semblant a la que passaria amb dos dipòsits que contenen un gas a la mateixa pressió. Si la capacitat de cabuda de l'un és doble de la de l'altre, la quantitat de gas continguda serà també doble. Però si en el dipòsit petit doblem la pressió, la quantitat de gas serà igual en el dos dipòsits.

## DISTRIBUCIÓ DE LES CÀRREGUES ELÈCTRIQUES

29. DENSITAT ELÈCTRICA. — Ja havem vist en el n.º 17 que les càrregues elèctriques s'acumulen exclusivament a la superfície exterior dels conductors electritzats. Podem admetre, doncs, que les càrregues elèctriques formen com una capa extremadament prima a la superfície exterior dels conductors electritzats.

Donem el nom de *densitat elèctrica* a la càrrega estesa en la unitat de superfície, o sigui, en 1 centímetre quadrat. La densitat elèctrica mitjana en un conductor és el quocient de la càrrega dividida per la superfície.

30. INFLUÈNCIA DE LA FORMA DELS CONDUCTORS EN LA DISTRIBUCIÓ DE LES CÀRREGUES. — En un conductor d'una forma simètrica, com la d'una esfera, la càrrega es distribueix en una capa uniforme, com indica la circumferència de traços de la figura 16.

Si la forma del conductor és la d'un ovoide allargat (fig. 17), la distribució de la càrrega deixa d'ésser uni-

forme, i s'acumula a les parts més agudes, obeint a la pròpia repulsió. Podem comprovar el fet amb un disc de prova i amb un electròmetre apropiat.

A les figures 18, 19 i 20 és indicada amb línies de traços la distribució de la càrrega, en un el·lipsoide, en un disc i en

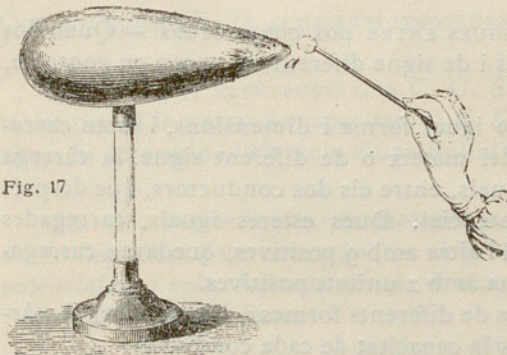


Fig. 17

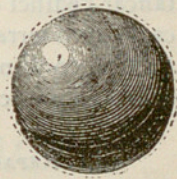


Fig. 16

un cilindre terminat amb dos casquets esfèrics.

31. PODER DE LES PUNTES. — Denominem poder de les puntes, la propietat que posseeixen les puntes, en els conductors, de deixar escapar les càrregues elèctriques. És una conseqüència de la distribució de la càrrega a la superfície

dels conductors de forma allargada. Si acostem la mà a una punta d'un conductor electritzat, sentirem un buf lleuger, i en la obscuritat notarem un efluvi lluminós.

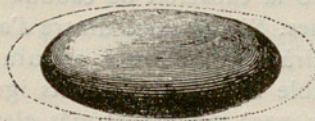


Fig. 18

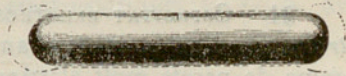


Fig. 19

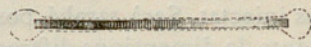


Fig. 20

**32. APLICACIÓ DEL PODER DE LES PUNTES ALS PARALLAMPS.** — Des de Franklin, que fou el primer que va descobrir la propietat de les puntes, n'ha estat feta aplicació als parallamps, destinats a la protecció dels edificis contra els efectes del llamp. Tots sabem que els parallamps usuals, instal·lats a les parts més altes dels edificis, són barres de ferro amb una o diverses puntes, amb bona comunicació amb la terra, per mitjà de barres o cables metàl·lics, que en el llur extrem van soldats a una anomenada *placa de terra*, consistent en una planxa de coure o de ferro galvanitzat, soterrada en aigua o en terra humida.

L'acció del parallamps és neutralitzar la càrrega elèctrica dels núvols, deixant escapar per la punta la càrrega de signe contrari, atreta per la llur influència. En cas de tenir lloc la descarga disruptiva (caiguda del llamp), la condueix a terra pel cable conductor, sense perjudici de l'edifici protegit.

Més que els senzills parallamps, és una protecció molt més racional tancar l'edifici dintre d'una gàvia o guarnició metàl·lica, en bona comunicació amb terra, instal·lant també a les parts altes barres metàl·liques amb puntes, comunicades elèctricament amb la gàvia. Aquest sistema és una senzilla aplicació de l'experiment de Faraday explicat en el n.º 19.

**33. REPARTIMENT DE CÀRREGUES ENTRE DOS CONDUCTORS.** — Quan dos conductors, amb càrregues iguals i de signe diferent, es posen en contacte, queden tots dos en estat neutre.

Si els dos conductors són de igual forma i dimensions, i estan carregats amb càrregues desiguals, del mateix o de diferent signe, la càrrega resultant es reparteix en parts iguals, entre els dos conductors, que després del contacte estaran a igual potencial. Dues esferes iguals, carregades la una amb 5 unitats negatives, i l'altra amb 9 positives, quedaran carregades després del contacte, cada una amb 2 unitats positives.

En cas d'ésser els conductors de diferents formes i dimensions, la càrrega resultant es repartirà segons la capacitat de cada conductor.

## CAPACITAT ELECTROSTÀTICA, CONDENSADORS I DIELÈCTRICS

**34. CAPACITAT ELECTROSTÀTICA.** — Podem comparar la *capacitat electrostàtica* d'un conductor amb la capacitat de cabuda d'un recipient de goma de parets molt elàstiques. Si injectem dintre d'aquest recipient un gas determinat, la pressió anirà augmentant a mesura de la quantitat de gas injectat. Serà també possible injectar quantitats iguals de gas en recipients de dimensions diferents, però també serà més elevada la pressió, en el recipient més petit, que l'assolida en el gran.

En un conductor elèctric isolat, una càrrega elèctrica determinada

causa una elevació de potencial. Una càrrega doble, origina també una elevació de potencial doble. Podem, doncs, establir, que en un conductor isolat les càrregues són directament proporcionals als potencials.

La quantitat o nombre de unitats de càrrega, que eleva, en una unitat, el potencial d'un conductor, depèn de la seva forma i dimensions, i també d'altres circumstàncies, exteriors al conductor, com veurem més endavant.

Donarem el nom de *capacitat electrostàtica* d'un conductor isolat, al nombre d'unitats de càrrega, que eleven el seu potencial d'una unitat.

Anomenant  $C$  la capacitat electrostàtica d'un conductor;  $V$ , el seu potencial; i  $Q$ , la càrrega elèctrica; tindrem

$$C = \frac{Q}{V}$$

Equació que pot també pendre les formes

$$V = \frac{Q}{C} \text{ i } Q = VC$$

Que ens donen  $V$  i  $Q$ , coneixent respectivament,  $Q$  i  $C$ , i  $V$  i  $C$ .

**35.** UNITAT ELECTROSTÀTICA C. G. S., DE CAPACITAT.—Un conductor isolat tindrà la unitat de capacitat, C. G. S., quan la unitat C. G. S. de càrrega hi determina l'elevació d'una unitat C. G. S. de potencial.

**36.** UNITAT PRÀCTICA DE CAPACITAT.—La unitat pràctica de capacitat és: *la Capacitat d'un conductor, en el qual la càrrega de 1 culomb eleva el potencial de 1 volt*. Aquesta unitat és denominada *farad* en homenatge a Faraday. Tindrem, doncs

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ culomb}}{1 \text{ volt}}$$

Si recordem que 1 culomb (n.º 13), és equivalent a  $3 \times 10^9$  unitats electrostàtiques C. G. S. de quantitat; i que 1 volt (n.º 28), és igual a  $1/300$  unitats electrostàtiques C. G. S. de diferència de potencial, podrem trobar l'equivalència del farad, en unitats electrostàtiques C. G. S. de capacitat

$$1 \text{ farad} = \frac{3\,000\,000\,000}{\frac{1}{300}} = 900\,000\,000\,000 \text{ unitats C. G. S.}$$

o ço que és igual

$$1 \text{ farad} = 9 \times 10^{11} \text{ unitats electrostàtiques C. G. S. de capacitat}$$

Per a les necessitats de la pràctica, el farad resulta massa gran, per la qual cosa és usat ordinàriament el *microfarad*, que val una milionèsima part. Com veurem després, per mitjà de prefixos davant del nom de les unitats elèctriques i magnètiques, en igual forma que en el sistema mètric decimal, són formats els múltiples y submúltiples d'aquestes unitats. Com ja havem dit, el prefix *micro*, significa una milionèsima part.

**37. EXEMPLES.**—Exemple I. En un conductor, 50 unitats electrostàtiques C. G. S. de càrrega elèctrica han determinat una elevació de potencial de 20 unitats electrostàtiques C. G. S. ¿Quina serà la seva capacitat, en unitats electrostàtiques C. G. S.?

Resolució. Fent ús de la fórmula del n.º 34.

$$C = \frac{Q}{V}$$

tindrem

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{50}{20} = 2,5 \text{ unitats electrostàtiques C. G. S. de capacitat.}$$

Exemple II. En un conductor, una càrrega de 0,001 culombs, hi ha determinat un augment de potencial de 100 volts. Trobar la capacitat del conductor, en microfarads.

Resolució. Aplicant la mateixa fórmula del n.º 34, tindrem

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{0,001}{100} = 0,00001 \text{ farads}$$

$$0,00001 \text{ farads} \times 1000000 = 10 \text{ microfarads}$$

**38. CONDENSADORS.**—Acabem de parlar de la capacitat electrostàtica d'un conductor isolat, sense relacionar-la amb l'efecte de la presència d'altres conductors més o menys pròxims. Suposem (fig. 21) una planxa de coure A isolada i posada en comunicació amb un altre conductor C electritzat, també isolat. La càrrega de C quedarà repartida entre C i A, com ho faria l'aigua entre dos vasos comunicants, en els quals quedaria al mateix nivell. Si acostem a A, una altra planxa igual B de coure, isolada; aquesta quedarà electritzada per l'influència de A, amb la distribució de càrregues que indica la figura. L'equilibri elèctric no s'haurà alterat, i la repartició de càrregues entre A i C continuarà essent igual que abans.

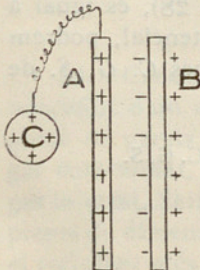


Fig. 21

Si ara (fig. 22) posem en comunicació amb terra la planxa B, la càrrega positiva de la cara exterior de B, serà

repel·lida a la terra i deixarà, ella també, de repel·lir la càrrega positiva de *A*. Aqueixa càrrega positiva de *A*, sol·licitada únicament per la atracció de la càrrega negativa de la cara interior de *B*, augmentarà a despeses de la càrrega de *C*. Això és el que representa el major nombre de signes + i - de la figura 22 sobre els que figuren en la figura 21.

Veiem, doncs, que la presència de la planxa *B* y la operació de comunicar-la amb terra, ha estat causa d'un augment de la càrrega elèctrica positiva de la planxa *A*.

Donem el nom de *condensador*, a la combinació de dos conductors, l'un isolat i l'altre comunicant amb la terra, separats per un isolant. Els dos conductors són anomenats *armadures*; i l'isolant que els separa, és anomenat el *dielèctric* del condensador. El nom de condensador ve de la propietat que tenen aqueixos aparells d'acumular o condensar càrregues elèctriques considerables.

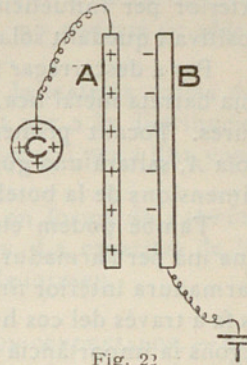


Fig. 22

**39. BOTELLA DE LEYDEN.**—Una de les formes més antigues de condensador és la *botella de Leyden*. Es compon (fig. 23), d'una botella de vidre, de parets primes, plena de fulles d'or batut. A la part exterior hi va enganxada una fulla d'estany *B*, que també recobreix el fons, però que deixa el vidre nu, un bon tros sota el coll de la botella. Va tapada amb un tap de suro, pel qual passa justa una tija de coure o llautó, recorbada exteriorment en forma de ganxo y terminada amb un botó *A*. A l'interior, la tija comunica amb les fulles d'or, que formen l'armadura interna. La fulla d'estany és l'armadura externa, i el vidre de la botella és el dielèctric.

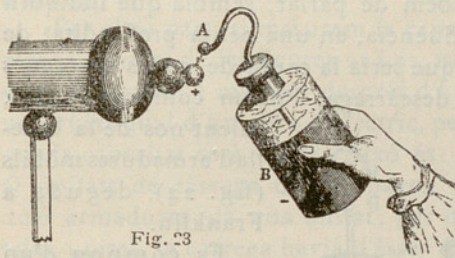


Fig. 23

Carreguem la botella de Leyden fent comunicar amb terra una de les armadures, i l'altra amb una font d'electricitat, per exemple el conductor d'una màquina electrostàtica d'influència. La figura 23 representa que s'està carregant amb signe + l'armadura interior, tot essent l'exterior comunicada amb la terra per la mà i cos de l'operador. Per invertir el signe de la càrrega, no caldria sinó agafar el ganxo amb la mà i presentar al conductor de la màquina electrostàtica la fulla d'estany.

Durant la càrrega, les coses passen en la mateixa forma que l'explicada per a la figura 22: l'armadura interior es carrega positivament per contacte amb el conductor de la màquina electrostàtica, i l'armadura

exterior per influència de la interior, essent repel·lida a terra la càrrega positiva i quedant solament la negativa.

Per a descarregar instantàniament la botella de Leyden, basta que amb una barreta metàl·lica, corbada convenientment, toquem les dues armadures. Tocant primer l'armadura exterior, abans d'arribar a tocar la bola A, saltarà una guspira, que serà tant més forta com majors siguin les dimensions de la botella i la càrrega que li ha estat donada.

També podem efectuar la descàrrega tenint la botella agafada amb una mà per l'armadura exterior, i acostant un dit de l'altra mà a la tija de l'armadura interior fins que salti la guspira. En aquest cas, la descàrrega es fa a través del cos humà, fent sentir una commoció més o menys forta segons la importància de la càrrega.

A la descàrrega tornen a combinar-se les càrregues elèctriques de signe contrari, quedant les armadures a l'estat neutre. No obstant, després d'una estona d'haver descarregat el condensador, en qualsevol de les formes explicades, podem encara obtenir una nova guspira, quasi tan forta com la primera. Així successivament, podem obtenir noves descàrregues, anomenades secundàries, si cada vegada deixem passar un quant temps de repòs. Les guspises són cada cop més febles.

40. SITUACIÓ DE LES CÀRREGUES ELÈCTRIQUES EN UN CONDENSADOR.—Les descàrregues secundàries de què acabem de parlar, sembla que indiquin l'existència d'una electrització per influència, en una petita profunditat de la massa del dielèctric; electrització que seria la causa de noves càrregues de les armadures, després de cada descàrrega. Podem comprovar això,

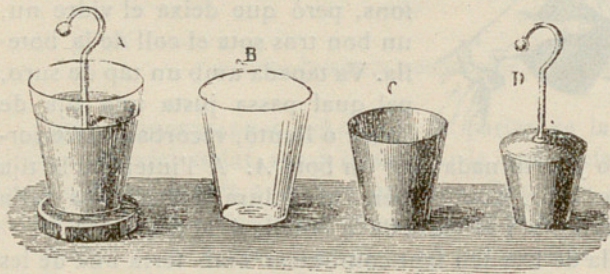


Fig. 24

valent-nos de la botella d'armadures mòbils (fig. 24), deguda a Franklin.

Es compon d'un vas cònic de vidre B, d'una armadura exterior de llauna C i d'una armadura interior D, també de llauna.

Aquestes peces, degudament muntades, constitueixen una completa botella de Leyden A. Després de carregar-la en la forma ordinària, la dipositarem sobre una coca isolant de resina. La desmuntarem aleshores, peça per peça, deixant-les en terra l'una al costat de l'altra. En aquesta operació, evidentment, les armadures han quedat a l'estat neutre. Muntada novament la botella sobre la coca de resina, donarà una guspira, quasi tan forta com si no haguéssim descarregat les armadures. Sense nova càrrega, podem repetir diverses

vegades l'operació, obtenint sempre fortes guspises. Però si descarreguem el vas de vidre, passant-li una flama per la superfície, no podrem ja obtenir cap més guspisa del condensador muntat.

Això demostra que la càrrega elèctrica està en la mateixa massa de l'isolant o dielèctric, servint les armadures solament per a la distribució de les càrregues esmentades a la superfície del dielèctric i per a llur conducció a l'exterior.

Les botelles de Leyden poden ésser agrupades en forma de *bateria*, unint totes les armadures interiors i totes les exteriors. La capacitat de la bateria serà proporcional al nombre de botelles que la formen.

**41. CONDICIONS DE QUÈ DEPÈN LA CAPACITAT D'UN CONDENSADOR.** — En els condensadors d'armadures planes, com els de les figures 21 i 22, la capacitat és directament proporcional a la superfície de les armadures. Passa igual a la botella de Leyden.

Experimentalment podríem veure que com més petit és el gruix del dielèctric, més augmenta la capacitat d'un condensador. La capacitat esmentada és inversament proporcional al gruix del dielèctric. De manera que: si doblem el gruix del dielèctric, la capacitat del condensador queda reduïda a la meitat; inversament: si disminuïm el gruix del dielèctric en una meitat, la capacitat del condensador serà doble que la d'abans.

Per altra part, si mesurem la capacitat d'un condensador d'armadures planes, com el de les figures 21 i 22, isolades per un gruix determinat d'aire sec, i la tornem a mesurar després d'haver substituït el gruix d'aire sec per un gruix igual d'un altre dielèctric, per exemple la parafina sòlida, veurem que la capacitat serà doble. Això és: que si amb l'aire com a dielèctric,  $Q$  unitats de càrrega determinaven una diferència de potencial entre les dues armadures, de una unitat; per obtenir amb la parafina aquesta mateixa unitat, la càrrega havia d'ésser de  $2 Q$  unitats.

Pel que acabem de dir, les condicions de què depèn la capacitat d'un condensador són tres:

De la superfície i forma de les armadures.

Del gruix del dielèctric.

I finalment de la naturalesa del dielèctric.

**42. DIELECTRICS.** — Donem el nom de *dieselèctric*, a tot cos que permet que s'exerceixi al seu través l'electricització per influència o inducció electrostàtica. En general, podem dir que tots els cossos isolants són dielèctrics; però en l'una o en l'altra funció pot un mateix cos tenir qualitats molt diferents. Un cos isolant pot ésser un excel·lent isolador, i en canvi, constituir un dielèctric de molt males condicions. Tal passa, per exemple, a l'aire sec, que és un isolador magnífic i un mal dielèctric.

**43. PODER INDUCTOR ESPECÍFIC DELS DIELÈCTRICS.**—En el n.º 41, havem parlat de la influència que en condensadors d'armadures iguals, té l'empleu de l'un o de l'altre dielèctric. Havem posat un exemple d'un condensador d'armadures planes, en el qual la substitució de l'aire sec, com a dielèctric, per la parafina sòlida ens ha donat una capacitat doble. Si substituïssim la parafina per un gruix igual de mica, la capacitat seria 3 vegades més gran que amb la parafina i 6 vegades més que amb l'aire sec.

Donem el nom de *Poder inductor específic* d'un dielèctric, al quocient que resulta de dividir la capacitat obtinguda en un condensador amb el tal dielèctric, per la capacitat del mateix condensador, en el qual el dielèctric sigui l'aire sec. En els exemples posats el *poder inductor específic* de la parafina sòlida seria 2, i el de la mica, 6.

Sabem per el n.º 41, que en dos condensadors en els quals varia solament el gruix del dielèctric, si es mantenen constants els altres elements, les capacitats són inversament proporcionals als gruixos del dielèctric. És fàcil comprendre que dos condensadors plans, amb armadures iguals, separades en un d'ells per 1 m/m d'aire sec, i en l'altre per 6 m/m de mica, tindrien la mateixa capacitat; ja que com havem vist, el poder inductor específic de la mica és 6 vegades el de l'aire.

Quan parlem de mesurar la capacitat d'un condensador, convé especificar la manera com havem fet la mesura; si les càrregues i descàrregues han estat molt ràpides (moltes per segon) o si la càrrega i descàrrega han estat fetes pausadament; les valors de les capacitats trobades en l'últim cas són sempre superiors a les trobades amb càrregues i descàrregues ràpides.

A continuació donem una taula en la qual figuren els poders inductors específics de diversos dielèctrics, en relació al de l'aire sec a la pressió atmosfèrica, que prenem com a tipus. Les valors de la taula han estat obtingudes per càrregues i descàrregues molt ràpides, a la temperatura ordinària.

### TAULA III

#### PODER INDUCTOR ESPECÍFIC DE DIVERSOS DIELÈCTRICS

##### *Dielèctrics sòlids*

Cautxú . . . . .	2,12 - 2,34
Id. vulcanitzat . . . . .	2,69 - 2,94
Vidre . . . . .	6,96 - 10
Cristall . . . . .	5,8 - 10
Fibra roja dura . . . . .	1,44
Id. id. dolça . . . . .	2,08
Ebonita . . . . .	2,0 - 2,8
Goma laca . . . . .	3,10
Gutaperxa . . . . .	3,3 - 4,9
Mica . . . . .	5,7 - 8

Parafina . . . . .	1,98 - 2,32
Porcellana . . . . .	4,38
Quars . . . . .	4,40 - 4,55
Resina . . . . .	2,48 - 2,57
Sofre . . . . .	2,6 - 3,9
Spermaceti . . . . .	2,18 - 2,25
Seleni . . . . .	10,2
Paper Manila . . . . .	1,50
Paper parafinat . . . . .	1,8
Glaç a 0° . . . . .	78

*Dielèctrics líquids*

Alcohol amilic . . . . .	15 - 15,9
Id. etílic . . . . .	24 - 27
Id. metílic . . . . .	32,6
Id. propílic . . . . .	22,8
Benzina . . . . .	2,3
Aigua destil·lada . . . . .	80
Oli de resina . . . . .	4,4 - 4,8
Oli d'oliva . . . . .	3,08 - 3,16
Petroli . . . . .	2,02 - 2,19
Oli d'esperma . . . . .	3,02 - 3,09
Vaselina líquida . . . . .	2,17
Parafina líquida . . . . .	1,68 - 2,32

*Dielèctrics gasosos*

Aire (tipus) . . . . .	1
Buit a 5 m/m de mercuri . . . . .	0,9985
Buit a 0,001 m/m de id. . . . .	0,99941
Hidrogen . . . . .	0,9997
Anhídrid carbònic . . . . .	1,00036
Anhídrid sulfurós . . . . .	1,0037

Per a tots els gasos a 0° C. i a la pressió atmosfèrica, el poder inductor específic té una valor veïna de 1.

44. DESCÀRREGA DISRUPTIVA. — En els núms. anteriors havem vist que quan augmenta la tensió o diferència de potencial entre dos conductors o disminueix la distància entre ells, arriba un punt en què salta una guspira que no és altra cosa sinó la combinació brusca de les càrregues elèctriques de signe diferent.

Això és ço que passa també en un condensador, a través del seu dielèc-

tric; si la diferència de potencial entre les dues armadures va creixent, el dielèctric és perforat per una guspira, i queden aquelles descarregades.

La descàrrega en forma de guspira, és anomenada *descàrrega disruptiva*.

En l'aire, la guspira elèctrica té formes molt variades; adés és constituïda per un sol tret lluminós, dret, corb o en zig-zag; adés per nombroses branques. Quan un dels conductors presenta una punta o una aresta fina, la descàrrega pren de vegades la forma d'efluyi, amb una llum fosforescent, i mantenint-se durant un temps molt llarg; inversament del que passa en la guspira que és instantània i acompanyada d'un soroll sec.

La fotografia de les guspises elèctriques demostra que són una reproducció, en petita escala, de les grandioses guspises atmosfèriques, que tots podem veure i admirar els dies de tempesta.

**45. RIGIDESA DIELECTRICA. DISTÀNCIA EXPLOSIVA.**— Donem el nom de rigidesa dielèctrica, a la resistència que oposa un isolant a ésser perforat per la guspira elèctrica. Així, és mesurada la rigidesa dielèctrica d'una substància, col·locant-la entre dos conductors, dels quals fem créixer la diferència de potencial fins arribar a la perforació. La diferència de potencial elèctric últimament suportada, dividida pel gruix en centímetres de l'isolant, ens donarà la seva rigidesa dielèctrica en volts per centímetre.

La distància a què, per una diferència donada de potencial i un isolant determinat, salta la guspira de perforació, és anomenada *distància explosiva*.

**46. RIGIDESA DIELECTRICA DE L'AIRE.** Es necessària una diferència de potencial de 300 a 400 volts, perquè salti, en l'aire, la guspira més petita encara que sigui qüestió de distàncies inferiors a una dècima de mil·límetre. Influeixen en la rigidesa dielèctrica de l'aire, la forma dels conductors en presència, la temperatura i la pressió atmosfèrica. En general, podem dir que baixa amb l'augment de temperatura i creix amb l'augment de pressió.

A continuació donem dues taules: la primera, amb les diferències de potencial que determinen, en l'aire, el salt d'una guspira entre dues esferes metàl·liques segons la llur distància; i la segona, semblants valors per a dues agulles oposades per les puntes. En totes dues taules, la pressió de l'aire és l'atmosfèrica normal.

TAULA IV

TENSIÓ EN VOLTS QUE DETERMINA EL SALT D'UNA GUSPIRA ENTRE DUES ESFERES METÀL·LQUES D'UN CENTÍMETRE DE DIÀMETRE, A L'AIRE, SEGONS LA SEVA DISTÀNCIA

Distància en m/m	Diferència de potencial en volts	Distància en m/m	Diferència de potencial en volts
0,2	1560	10	25071
0,4	2460	11	26255
0,6	3300	12	27024
0,8	4050	13	27765
1	4765	14	28359
2	8140	15	28949
3	11307	16	29363
4	14119	17	29837
5	16664	18	30133
6	19210	19	30547
7	21823	20	30932
8	22792	21	31198
9	24153	22	31494

TAULA V

DISTÀNCIES EXPLOSIVES, A L'AIRE, ENTRE DUES AGULLES OPOSADDES PER LES PUNTES

Distància en centímetres	Diferència de potencial en volts	Distància en centímetres	Diferència de potencial en volts
0,57	7080	11,8	85000
1,19	14150	14,9	99100
1,84	21200	18,0	113200
2,54	28300	21,2	127400
3,3	35400	24,4	141500
4,1	42500	27,3	155600
5,1	49500	30,1	169800
6,2	56700	32,9	184000
7,5	63700	35,4	198000
9,0	70800	38,1	212000

47. RIGIDESA DIELECTRICA DELS ISOLANTS INDUSTRIALS. — La rigidesa dielèctrica dels isolants líquids i sòlids emprats a la indústria de les construccions elèctriques, és molt més gran que la de l'aire i dels gasos.

Si la rigidesa fos constant per a tots els gruixos, a doble gruix correspondria una doble tensió de perforació. Però, degut segurament a la falta

d'una absoluta homogeneïtat, a la pràctica, la rigidesa varia moltes vegades amb els gruixos empleats, com podrem veure en la taula següent, en la qual figuren els isolants més comunament empleats.

TAULA VI

RIGIDESA DIELÈCTRICA DE DIVERSES SUBSTÀNCIES

Naturalesa del isolant	Gruix de l'isolant en m/m	Rigidesa en volts per centímetre de gruix
Vidre ordinari . . . . .	2	160000
Mica . . . . .	0,01	2000000
» . . . . .	0,1	1150000
» . . . . .	0,2	950000
» . . . . .	0,5	750000
» . . . . .	1	610000
Micanita . . . . .	0,127	372000
» . . . . .	0,177	523000
» . . . . .	0,228	442000
» . . . . .	0,28	469000
» . . . . .	0,5 a 1	400000
Ebonita dura negra . . . . .	0,93	538000
» » » . . . . .	1,86	434000
Ebonita tendre vulcanitzada . . . . .	1,35	476000
» » » . . . . .	2,7	318000
Cartró cuiro (Leatheroid) . . . . .	0,4	126000
» » » . . . . .	0,8	106000
» » » . . . . .	1,2	100700
» » » . . . . .	1,6	94500
» » » . . . . .	3,2	47300
» » » . . . . .	4,8	12600
» » » . . . . .	6,4	9450
Paper encerat . . . . .	0,14	540000
Paper d'escriure parafinat . . . . .	0,15	540000
Paper tela parafinat . . . . .	0,09	510000
Paper secant parafinat . . . . .	0,8	135000
Parafina sòlida . . . . .		139000
Parafina líquida . . . . .		56000
Oli mineral . . . . .		48000
Oli d'espermaceti . . . . .		52000
Oli d'oliva . . . . .		70000
Oli de llinosa . . . . .		83000
Aire . . . . .	5	23800
Anhídric carbònic . . . . .	5	22700
Hidrogen . . . . .	5	15100
Sofre cristal·litzat . . . . .		33000

És evident la importància que té el coneixement dels valors consignats en les darreres taules, per a les construccions elèctriques. Amb l'aplicació dels coeficients de seguretat conyenients, podem emprar en cada cas els diversos isolants, amb els gruixos adequats a les tensions de treball de les màquines i aparells.

48. CONSTRUCCIÓ I CÀLCUL DELS CONDENSADORS INDUSTRIALS.— Com veurem més endavant, tots els circuits elèctrics tenen més o menys capacitat electrostàtica, i són molts els elements llurs que podem considerar com a veritables condensadors. El càlcul de la capacitat d'aquests elements i dels seus efectes, no són propis d'aquest lloc.

Ens ocuparem, doncs, aquí, solament dels condensadors usualment empleats en diverses aplicacions elèctriques.

Ja coneixem la forma del condensador constituït per la botella de Leyden, convenient per a grans diferències de potencial, però que dona capacitats molt petites.

Per obtenir capacitats d'alguna importància, farem ús, per a les armadures, de fulles fines de paper d'estany, i per a dielèctric, de paper parafinat.

De vegades és bo apilar les fulles de paper d'estany, les unes sobre les altres, intercalant-hi fulles de paper parafinat. Totes les fulles parelles comuniquen entre sí, igual que les imparelles, quedant aquestes isolades d'aquelles pel paper parafinat (fig. 25). El conjunt, després de ben premsades les fulles per dues planxetes de fusta, és tancat dins d'una caixa també de fusta, reomplerta de parafina fosa.

Altres vegades les fulles de paper d'estany i de paper parafinat, són de gran llargada, i després d'intercalades i comunicades com anteriorment, són enrotllades en forma cilíndrica.

El paper parafinat és usat solament per a tensions inferiors a 200 volts; per a tensions superiors empleem la mica, l'ebonita, el vidre, etc., etc.

La capacitat d'un condensador pla, senzill o múltiple, és donada per la fórmula

$$C = \frac{k s}{4 \pi d}$$

en la qual:

$C$  = capacitat del condensador, en unitats electrostàtiques C. G. S.

$k$  = poder inductor específic del dielèctric empleat.

$s$  = àrea, en centímetres quadrats, del conjunt de les fulles del dielèctric.

$d$  = gruix, en centímetres, de les fulles del dielèctric.

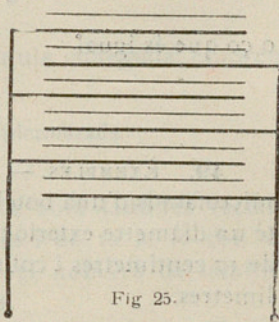


Fig. 25.

Aquesta mateixa fórmula pot ésser aplicada a un condensador de qual-sevol forma, amb la condició que les armadures siguin prou pròximes, i la seva curvatura prou dèbil, perquè el camp a l'interior del dielèctric pugui ésser considerat com a uniforme. En aqueixes condicions poden ésser considerats el condensador de fulles enrotllades i la botella de Leyden.

Es dedueix de la fórmula que la capacitat d'un condensador depèn solament:

Del poder inductor específic  $k$ , corresponent al dielèctric empleat, al qual és directament proporcional.

De l'àrea  $s$  del dielèctric, a la qual és també directament proporcional.

I, finalment, del gruix  $d$  del dielèctric, al qual és inversament proporcional.

Pels núms. 41 i 43 ja coneixíem aqueixa proporcionalitat.

Si recordem (n.º 36) que,

1 microfarad = 900 000 unitats electrostàtiques C. G. S. de capacitat,

tindrem:

$$C \text{ microfarads} = \frac{k s}{900000 \times 4 \pi d}$$

i efectuant les operacions indicades

$$C \text{ microfarads} = \frac{0,0000000885 k s}{d}$$

o ço que és igual

$$C \text{ microfarads} = \frac{885 k s}{10^{10} d} \quad (1)$$

49. EXEMPLES. — Exemple I. Trobar la capacitat electrostàtica, en microfarads d'una botella de Leyden, en la qual la part cilíndrica del vidre té un diàmetre exterior de 12 centímetres; les armadures tenen una altura de 17 centímetres i cobreixen també el fons. El gruix del vidre és de 2 mil·límetres.

Resolució. Aplicarem la fórmula (1) del n.º 48, després de determinar les valors de  $k$  i  $s$ .

El poder inductor específic del vidre, segons la taula III del n.º 43, oscil·la de 6,96 a 10. Pendrem com a terme mitjà

$$k = 8,5$$

La part cilíndrica del dielèctric té una àrea de

$$3,14 \times 12 \times 17 = 640,56 \text{ cm.}^2$$

El fons té una àrea de

$$\frac{3,14 \times 12^2}{4} = 113,04 \text{ cm.}^2$$

L'àrea total, serà, doncs

$$s = 640,56 + 113,04 = 753,6 \text{ cm.}$$

Substituint, ara, en la fórmula (1) les valors de  $k$ ,  $s$  i  $d$ ,

$$C = \frac{885 \text{ k s}}{10^{10} \text{ d}} = \frac{885 \times 8,5 \times 753,6}{10^{10} \times 0,2} = 0,00283 \text{ microfarads.}$$

Exemple II. Trobar la capacitat d'un condensador construït amb làmines rectangulars de mica, de 0,1 mm. de gruix, de 13 cm. de llarg per 8 cm. d'ample, en nombre de 250, intercalades entre fulles d'estany, en la forma explicada en el n.º 48.

L'àrea total de les fulles del dielèctric, en cm., és

$$250 \times 13 \times 8 = 26000 \text{ cm.}^2$$

El poder inductor de la mica, segons la taula III del n.º 43, oscil·la de 5,7 a 8. Pendrem

$$k = 7$$

Substituint les valors del cas actual en la fórmula coneguda, tindrem

$$C = \frac{885 \text{ k s}}{10^{10} \text{ d}} = \frac{885 \times 7 \times 26000}{10^{10} \times 0,01} = 1,6 \text{ microfarads.}$$

Exemple III. En un condensador construït amb làmines rectangulars, de paper parafinat, de 0,05 mm. de gruix i de  $12 \times 15$  cm. de costat, intercalades entre fulles d'estany, trobar el nombre de làmines necessari per a obtenir la capacitat de 1 microfarad.

La taula III del n.º 43 ens dóna com a poder inductor específic del paper parafinat

$$k = 1,8$$

Per altra part, de la fórmula

$$C = \frac{885 \text{ k s}}{10^{10} \text{ d}}$$

resulta

$$s = \frac{10^{10} \text{ C d}}{885 \text{ k}}$$

Aquesta darrera fórmula, després de substituir les lletres per les seves valors, ens donarà la valor numèrica de  $s$

$$s = \frac{10^{15} \times 1 \times 0,005}{885 \times 1,8} = 31372 \text{ cm.}^2$$

Com que cada una de les fulles de paper parafinat té una superfície de

$$12 \times 15 = 180 \text{ cm.}^2$$

el nombre de fulles serà

$$\frac{31372}{180} = 174 \text{ fulles}$$

**50. ASSOCIACIÓ DE CONDENSADORS EN QUANTITAT O EN PARAL·LEL.** —

Diem que dos o més condensadors estan associats en quantitat o en paral·lel, quan s'uneixen les armadures en la forma indicada a la figura 26.

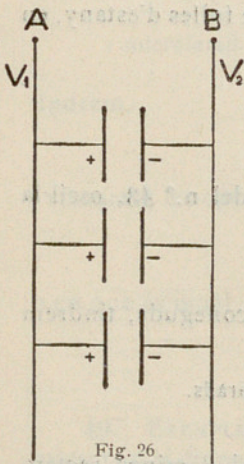


Fig. 26.

Representant la diferència de potencial entre A i B, per  $V_1 - V_2$ , la càrrega elèctrica individual que pendrà cada condensador serà

$$Q_1 = C_1 (V_1 - V_2); \quad Q_2 = C_2 (V_1 - V_2); \quad Q_3 = C_3 (V_1 - V_2); \dots$$

i la càrrega total  $Q_t$

$$Q_t = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n) (V_1 - V_2) = C_t (V_1 - V_2)$$

$C_t$  designa la capacitat total del grup de condensadors, que, com veiem, és igual a la suma de les capacitats individuals dels condensadors associats.

**51. ASSOCIACIÓ DE CONDENSADORS EN SÈRIE.** — Si donem el signe + i - a cada una de les armadures dels condensadors, i els associem de manera que l'armadura - del primer estigui unida amb la + del segon; la - del segon, amb la + del tercer; i així successivament, tindrem l'associació en sèrie dels condensadors (fig. 27).

Designant per  $n$  el nombre de condensadors en sèrie; per  $V$  —  $V_n$  la diferència de potencial de les armadures extremes; i per  $V_1, V_2, \dots, V_{n-1}$ , el potencial de les armadures intermèdies; la càrrega individual serà la mateixa

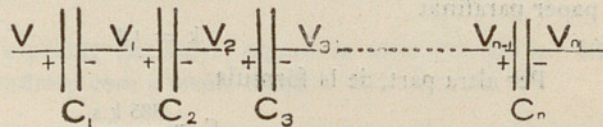


Fig. 27

per a tots els condensadors, i estarà expressada per les fórmules següents :

$$Q = C_1 (V - V_1); Q = C_2 (V_1 - V_2); \dots \dots \dots Q = C_n (V_{n-1} - V_n)$$

en les quals  $Q$  és la càrrega comuna i  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , són les capacitats de cada condensador.

Dividint ambdós membres de cada igualtat per la capacitat, tindrem

$$\frac{Q}{C_1} = V - V_1; \frac{Q}{C_2} = V_1 - V_2; \dots \dots \dots \frac{Q}{C_n} = V_{n-1} - V_n$$

Sumem ara aquestes equacions membre a membre

$$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots \dots \dots + \frac{Q}{C_n} = V - V_n$$

d'on

$$Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \dots \dots + \frac{1}{C_n} \right) = V - V_n$$

i per consegüent

$$Q = \frac{V - V_n}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \dots \dots + \frac{1}{C_n}} = C (V - V_n)$$

designant  $C$ , la capacitat combinada del grup de condensadors en sèrie, que, com veiem, és igual a

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \dots \dots + \frac{1}{C_n}}$$

**52. EXEMPLE.** — Exemple I. Trobar la capacitat electrostàtica d'un grup de tres condensadors associats en quantitat, les capacitats individuals dels quals són respectivament : 0,2, 0,1 i 0,5 microfarads.

Resolució. Sabem pel n.º 50 que la capacitat del grup serà

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

per consegüent

$$C = 0,2 + 0,1 + 0,5 = 0,8 \text{ microfarads.}$$

Exemple II. Trobar la capacitat combinada d'un grup format pels tres condensadors del problema anterior, associats en sèrie.

Resolució. En el n.º 51 havem vist que la capacitat electrostàtica d'un grup de condensadors en sèrie, és expressada per la fórmula

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Substituint les lletres per les seves valors tindrem

$$C = \frac{1}{\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,5}} = \frac{1}{5 + 10 + 2} = \frac{1}{17} = 0,059 \text{ microfarads.}$$

**53. APLICACIONS DELS CONDENSADORS.** — Les aplicacions dels condensadors són molt variades, com podrem veure en l'estudi de les altres seccions; de moment podem dir que són usats en telegrafia i telefonia, en les instal·lacions de protecció de la maquinària i aparells industrials contra les sobretensions, etc., etc.

**54. CAPACITAT DE LES LÍNIES ELÈCTRIQUES.** — Les línies elèctriques, telegràfiques i telefòniques, de transport i de distribució d'energia, tant les aèries com les subterrànies, constitueixen veritables condensadors, les armadures dels quals, en les aèries, són els conductors, i en les subterrànies, els conductors i les cobertes metàl·liques protectores.

En les línies aèries de poca llargada, la capacitat electrostàtica és molt petita i per tant despreciable en la majoria dels casos; en les molt llargues té ja una veritable importància.

La capacitat electrostàtica de les línies subterrànies, és molt més important i molt principalment la de les línies o cables telegràfics submarins, que amb llargades de milers de quilòmetres, arriben a tenir capacitats de 1/6 de microfarad per quilòmetre.

**55. ELECTRÒMETRES I VÒLTMETRES ELECTROSTÀTICS.** — Com ja indica el seu nom, els electròmetres i vòltmetres electrostàtics són instruments o aparells destinats a la mesura de les diferències de potencial, valent-se de les atraccions i repulsions electrostàtiques. Els vòltmetres reben aquest nom, perquè la desviació d'una agulla sobre una escala graduada dóna directament el nombre de volts, de la diferència de potencial objecte de la mesura.

Aquests aparells no són altra cosa que veritables condensadors, amb una armadura fixa i l'altra mòbil. Així, si disposem dues planxes molt primes d'alumini, *A* i *B*, fig. 28, a la distància de molts pocs mil·límetres, mantenint fixa una de elles i deixant l'altra amb llibertat de moure's, i les

posem en comunicació elèctrica amb dos punts a diferent potencial, la força d'atracció que es desenrotllarà entre elles, serà tant més gran, com més gran sigui la diferència de potencial entre els dos punts esmentats.

Si oposem al moviment de la planxa mòbil un ressort, la mesura de la tensió d'aquest ressort, per qualsevol mitjà, ens donarà la de la força d'atracció entre les dues planxes, de la qual podrem deduir la valor de la diferència de potencial.

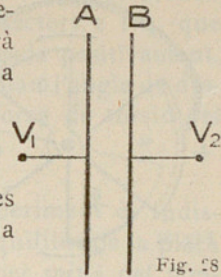


Fig. 28

56. ELECTRÒMETRE DE QUADRANTS DE LORD KELVIN I APARELLS QUE S'EN DERIVEN.—L'aparell elemental de què acabem de parlar en el número anterior, té una sensibilitat molt petita. Per augmentar-la, lord Kelvin

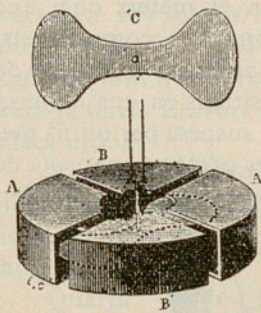


Fig. 29

ideà l'anomenat electròmetre de quadrants (figura 29), que, com podem veure, consisteix en una caixa cilíndrica, plana, dividida en quatre parts en forma de quadrants: A, A', B i B'. Dins dels quadrants va suspesa una agulla de planxa d'alumini, de la forma d'un 8, que pot oscil·lar lliurement a l'entorn del fil de suspensió, en ésser sol·licitada per l'atracció o repulsió que els quadrants exerceixen al seu damunt.

Com indica la figura 30, els quadrants oposats a, c i b, d, estan units elèctricament entre ells i cada un dels dos parells de quadrants s'uneixen

amb els dos punts la diferència de potencial dels quals tractem de mesurar. L'agulla rep una càrrega positiva de qualsevol origen, trobant-se sol·licitada per la força d'atracció d'un parell de quadrants i per la de repulsió de l'altre parell; les quals forces se sumen i causen la seva desviació.

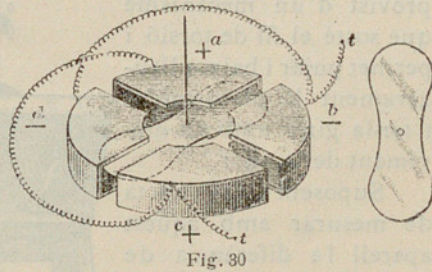


Fig. 30

L'angle d'oscil·lació és mesurat per la desviació d'un raig lluminós reflectit per un mirallet fix al fil de suspensió de l'agulla. En tractar més endavant de les mesures elèctriques en general, serà explicat més detingudament aquest sistema d'empleu d'un raig lluminós com a agulla indicadora.

Un altre electròmetre, també de lord Kelvin, semblant a l'anterior, és l'indicat a la fig. 31. En aquest electròmetre, la mesura de la diferència de potencial entre dos punts és realitzada unint l'un dells als quadrants fixos a a, i l'altre a la peça d'alumini b b, que es pot moure a l'entorn del seu eix,

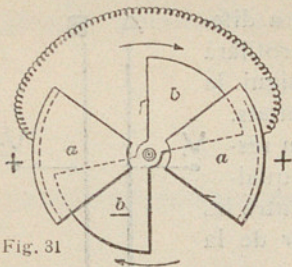


Fig. 31

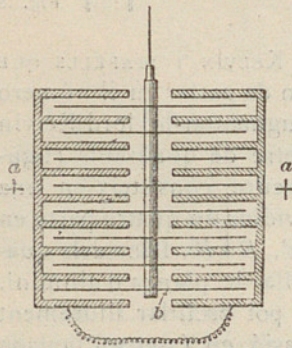


Fig. 32

Per arribar a una major sensibilitat hom. disposa diversos elements fixos i mòbils iguals als anteriors, l'un sobre l'altre (fig. 32), augmentant d'aquesta manera, proporcionalment al nombre de celdes, la força de torsió de l'eix comú de totes les peces mòbils. Aquest aparell és anomenat voltmètre multicel·lular de lord Kelvin.

57. ELECTRÒMETRE DE BRAULY.— L'agulla d'aquest instrument és una placa d'alumini en forma de 8, que es mou horitzontalment sobre quatre sectors plans de llautó isolats els uns dels altres, formant els quatre quadrants d'un mateix cercle. Aquests sectors fan el mateix ofici que els quadrants buits de Thomson i, com aquests, estan units dos a dos diagonalment. El centre de l'agulla i del cercle estan situats en una mateixa vertical. La placa mòbil és suspesa per un fil metàl·lic i l'eix de suspensió es prolonga per sota de la placa per una tija vertical que porta un mirallet.

L'aparell (fig. 33), està tancat dins d'una caixa de vidre que en la part superior porta un tub de vidre provist d'un mecanisme que sosté el fil de torsió i permet pujar i baixar lleugerament la placa mòbil i fer-la girar amb un moviment de tambor.

Suposem que es tracta de mesurar amb aquest aparell la diferència de potencial que hi ha entre els dos pols d'una pila o entre dos punts  $D$  i  $D'$  d'un conductor recorregut per un corrent. Es comença per donar a la placa mòbil una càrrega constant fent-la comunicar per la suspensió al positiu  $A$

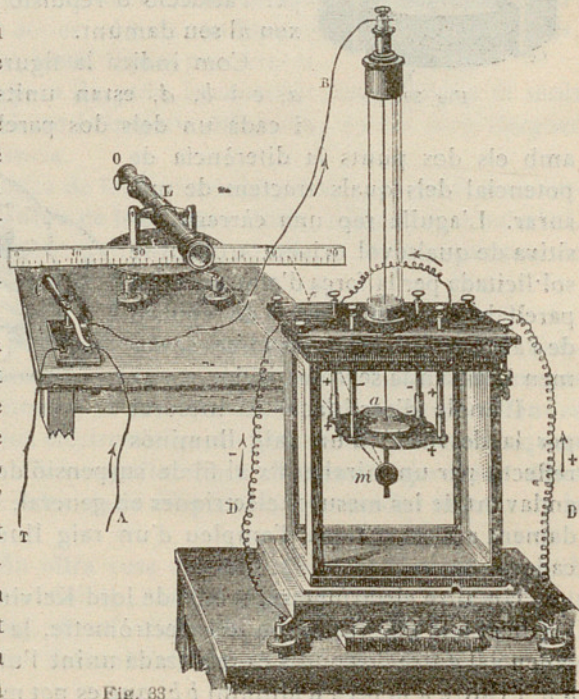


Fig. 33

d'una pila, el pol negatiu de la qual comunica amb la terra en el punt *T*. Es comunica el pol negatiu de la pila amb els sectors 1 i 3, que prenen el potencial d'aquest pol, i el positiu de la pila amb els sectors 2 i 4, que prenen el potencial d'aquest pol. La placa mòbil carregada positivament, es atrau per un dels sectors i repel·lida per l'altre. Quan l'angle de desviació arriba a una certa valor hi ha equilibri entre la força de torsió del fil i la que els sectors fixes ejerceixen sobre la placa.

*Observacions:* Primera. Abans de procedir a l'experiment és indispensable regular d'una manera precisa la posició d'equilibri de la placa mòbil. Per això, es fa girar lleugerament aquesta placa per mitjà del tambor, que suporta el fil metàl·lic, fins que prengui una posició que no varii quan es fan comunicar els quatre sectors amb la terra.

Segona. En algunes mesures, per exemple, quan es tracta de determinar la capacitat d'un conductor, és preferible donar als sectors una càrrega fixa. Els sectors 1 i 3 es fan comunicar llavors amb el pol positiu d'una pila, els sectors 2 i 4 amb el pol negatiu, i el punt mitjà d'aquesta pila (o sigui el punt que deixa tants elements a un costat i altre) es fa comunicar amb la terra. Llavors el conductor que estudiem es fa comunicar amb la placa mòbil.

Tercera. La sensibilitat d'aquest electròmetre es fa variar a voluntat pujant o baixant l'agulla i variant el nombre d'elements de càrrega. Amb aquest aparell poden mesurar-se fàcilment diferències de potencial inferiors a 0,01 de volt.

Quarta. Aquest instrument, empleat especialment per fer mesures comparatives, conserva la mateixa sensibilitat durant un temps prou llarg per poder fer una sèrie de mesures.

L'obra de l'enginyer és el fruit de la seva experiència i de la seva capacitat d'observació i de la seva habilitat per a la resolució de problemes. La seva funció és aconseguir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

Observem, primer, l'aspecte tècnic. L'enginyer ha de tenir en compte les condicions de treball, la seguretat i la salut dels treballadors. Ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

Segon, l'aspecte econòmic. L'enginyer ha de tenir en compte els costos del projecte i ha de garantir que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

Tercer, l'aspecte social. L'enginyer ha de tenir en compte les necessitats socials i ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

Quart, l'aspecte ambiental. L'enginyer ha de tenir en compte l'impacte ambiental del projecte i ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

En conclusió, l'enginyer ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte. Ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

L'enginyer ha de tenir en compte les condicions de treball, la seguretat i la salut dels treballadors. Ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

La seva funció és aconseguir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte. Ha de garantir que el projecte sigui viable i que els costos siguin els més baixos possible. Per a això, ha de tenir en compte tots els aspectes tècnics, econòmics i socials del projecte.

# ELECTROSTÀTICA

## PROBLEMES

1. Digueu, en poques paraules, en què consisteix el pèndol elèctric.
2. Què succeeix : *a)* quan freguem una barra de lacre amb una pell; *b)* quan freguem una barra de vidre amb un drap de cotó?
3. Quina relació hi ha entre la força atractiva o repulsiva de dos cossos electritzats, les seves càrregues electrostàtiques i la distància que els separa?
4. Si representem per  $Q$  i  $Q'$  les quantitats d'electricitat de dues càrregues elèctriques que es troben a la distància d'1 cm, quina serà la força que s'exercirà entre elles?
5. A quantes dines equivalen 10 grams?
6. Quina és, en dines, la força que s'exerceix entre dos cossos situats a una distància de 7 cm, si la càrrega de l'un és 3,5 unitats i la de l'altre és de 7 unitats electrostàtiques C. G. S.?
7. Expliqueu, en poques paraules : *a)* en què consisteix la inducció electrostàtica; *b)* què és l'inductor i què l'induït.
8. Quina és la unitat pràctica de capacitat?
9. Què és un dielèctric?
10. Quina és, en microfarads, la capacitat d'un condensador format per 30 làmines rectangulars de paper parafinat de 0,07 mm de gruix, intercalades entre fulles de paper d'estany de  $30 \times 20$  cm de costat?
11. Quina serà la capacitat de deu condensadors semblants al del problema 10; *a)* si estan reunits en quantitat; *b)* si estan reunits en sèrie; *c)* si estan reunits en dos grups en quantitat de 5 en sèrie.
12. Digueu, abreujadament, què és una botella de Leyden i com es carrega.
13. Quin signe tindrà la càrrega obtinguda al disc d'un electròfor si la coca és de lacre i es frega amb un drap de llana?
14. Què és una màquina electrostàtica?
15. Quina relació hi ha entre el farad i la unitat electrostàtica C.G.S. de capacitat?

16. Quina és l'elevació de potencial d'un conductor que té una capacitat de 15 microfarads en comunicar-li una càrrega de 0,004 culombs?
17. Què és un condensador, i quines són les seves parts constituents?
18. De què depèn la capacitat d'un condensador?
19. Què s'entén per poder inductor específic d'un dielèctric?
20. Quin ha d'ésser el gruix de la mica emprada en un condensador de tres centes fulles metàl·liques de  $10 \times 8$  cm perquè la seva capacitat sigui de 1,5 microfarads?

## ELECTROSTÁTICA

### PROBLEMES

1. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
2. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
3. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
4. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
5. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
6. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
7. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
8. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
9. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
10. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
11. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
12. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
13. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
14. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.
15. Digueu en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador i en quines parts es compon el condensador.



RF-5-28

