

F. GRAELL I DENIEL

**ESBOSSOS SOBRE ELECTRICITAT
(1600-1785)**

ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

(PART SEGONA)

QUADERNS DE FILOSOFIA

QUADERNS DE FILOSOFIA

1. *Sobre l'ús del mot 'bo'*, juliol 2013 [2^a edició].
2. *Què vol dir responsabilitat? Amb un annex sobre la llibertat*, octubre 2012 [3^a edició].
3. *Sobre les concepcions aritmetitzants dels nombres irracionals*, març 2015 [2^a edició].
4. *En quina accepció els grecs demostraren la incommensurabilitat?*, febrer 1999.
5. *Del discurs teòric*, març 2012 [2^a edició].
6. *Dels temps i dels moviments elementals*, octubre 1999.
7. *Consideracions sobre el llenguatge del llibre X dels Elements*, febrer 2000.
8. *Sobre la subjectivitat*, novembre 2013 [2^a edició].
9. *Sobre el principi de la moralitat*, octubre 2012 [4^a edició].
10. *Dotze notes a propòsit de la causa i de l'efecte*, març 2001.
11. *La proporció d'Èudox i la generalització de la proporció*, maig 2007 [2^a edició].
12. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part primera: La tesi de l'actitud natural i la seva desconexió*, desembre 2001.
13. *Propostes en ocasió del cos i de les passions*, desembre 2011 [2^a edició].
14. *Anotacions marginals als Principia Mathematica newtonians*, maig 2003.
15. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (I)*, octubre 2016 [4^a edició].
16. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (II)*, octubre 2016 [4^a edició].
17. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (III)*, octubre 2016 [4^a edició].
18. *Sobre els límits d'acord amb l'obra de Cauchy, gener 2017 [2^a edició].*
19. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part segona: Consciència i realitat natural*, abril 2006.
20. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part tercera: La regió de la consciència pura i les reduccions transcendents*, setembre 2006.
21. *La qüestió nacional. Nous esborranys per a avui*, maig 2010 [2^a edició].
22. *La llum i els colors. Unes aproximacions elementals*, maig 2007.
23. *Introducció a l'estètica. Esbossos d'una teoria de l'art i de la bellesa*, octubre 2007.
24. *Apunts de l'ús formal en la definició dels diferencials i de les derivades d'acord amb Cauchy i Weierstrass*, març 2017 [2^a edició].
25. *La saviesa, la fe i l'infinit*, juny 2008.
26. *A propòsit de la política, la democràcia i la justícia*, abril 2010 [2^a edició].
27. *Resums de lògica i llenguatge*, maig 2009.

F. GRAELL I DENIEL

**ESBOSSOS SOBRE ELECTRICITAT
(1600-1785)**

**ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA
(PART SEGONA)**

49

QUADERNS DE FILOSOFIA

Barcelona 2017

1ª edició: octubre 2017.
© F.Graell i Deniel
ISBN: 978-84-943607-7-0

www.xtec.cat/~fgraell
E-mail: fgraell@xtec.cat

La web permet de baixar la còpia d'un qualsevol quadern editat.
Podeu fer ús de l'adreça electrònica per a qualsevol correspondència amb
Quaderns de Filosofia.

II UNA NOVA ÈPOCA [1747-1785]

Es pot dir que Benjamin Franklin (1706-1789) inaugura una etapa més de l'electricitat que es caracteritza pel lliurament d'una teoria completa, pels experiments sobre l'electricitat de l'aire, i que es podria fer concloure amb les importants investigacions de Coulomb.

A. L'APORTACIÓ DE FRANKLIN.

Un dels molts mèrits de l'autor rau en la claredat i en la facilitat de comprensió a l'hora d'exposar els seus experiments i teories: sens dubte aquest deu ser un dels motius que en pocs mesos el coneixement dels seus escrits s'estengués arreu, i dels quals aquí sols se'n lliura un tast.

1. PER QUÈ UN COS ES DIU ELÈCTRICAMENT POSITIU O ELÈCTRICAMENT NEGATIU.

*La teoria del fluid únic. Individus sobre cera que freguen un tub.
Com el foc elèctric passa d'un cos a l'altre.*

Un resum d'allò bàsic de la manera de copsar Franklin els fenòmens elèctrics podria ser el següent: a través de la natura corporal hi ha difosa una matèria molt fina que és la base i l'origen de totes les manifestacions elèctriques. Les parts d'aquesta matèria subtil es repel·leixen entre si. Tanmateix es troben fortament subjectes a la matèria comuna del cos. Fet i fet l'estat natural de l'electricitat rau a mantenir-se arreu d'aquesta matèria comuna, i s'hi troba en tanta quantitat com sigui possible, més enllà de la qual roman apilada a la superfície del cos. L'estat es diu elèctricament positiu o més [*plus*] quan la quantitat de matèria subtil és més gran que la que pot mantenir en estat natural el cos – es diu elèctricament negatiu o menys [*minus*]

quan n'hi ha menys de la que pot mantenir. Totes les manifestacions elèctriques s'originen pel pas d'aquesta matèria fina des d'un cos a un altre.

Aquesta concepció – participada també per Watson – serà coneguda amb el nom de *teoria del fluid únic de l'electricitat*.

Això, i molt més, es troba a les cartes de Franklin sobre electricitat dirigides quasi totes a Peter Collinson, de Londres, que comencen el 28 de març de 1747 fins al 29 de juny de 1755, malgrat que continuà aquestes investigacions fins al 1774.

Ja la segona carta del 11 de juliol de 1747 sorprèn el lector amb algunes aportacions. Per exemple, esmenta Watson per tal d'introduir les passes d'una experiència que creu que convé comentar. Són aquestes:

1. Una persona (A) es troba sobre cera, i frega un tub. Una altra persona (B) sobre cera toca el tub amb el dit. Totes dues estan electritzades des del punt de vista d'algú que es troba sobre terra: la prova és que una tercera persona (C) no aïllada a la qual s'apropa l'artell de qualsevol de les dues percep una espurna.

2. Si els dos individus sobre cera es toquen mentre exciten el tub cap dels dos no sembla estar electritzat.

3. Si els qui es troben sobre cera es toquen ara l'un a l'altre, després d'excitar l'un el tub i l'altre havent-lo tocat, el tub, apareix una espurna més forta que la que apareix entre un d'ells i la que és directament sobre el terra en 1.

4. Després d'un tal fort espurneig cap no sembla tenir electricitat.

Afers d'aquest tipus portaren Franklin a l'opinió que el foc elèctric¹ no es crea per fricció, sinó que s'apila, essent realment un

¹ La qüestió si el fluid elèctric era un element sui generis o, com alguns suposaven, una altra manifestació del principi els efectes del qual estaven implicats en els fenòmens de la calor era una qüestió molt debatuda. Val la pena tenir present la problemàtica de la calor al llarg del segle XVIII, el flogist, el calòric, etc. La calor i l'electricitat mostraven comportaments semblant unes vegades, diferents unes altres. Les dues s'indueixen per fricció, les dues poden dur quelcom a cremar, les dues es poden transmetre per contacte, en conjunt els millors conductors d'electricitat són els que també ho fan de la calor. D'altra banda l'electricitat no fa pujar

element difús pel mig, i atret per l'altra matèria, especialment per l'aigua i els metalls.

Llavors raonà com segueix:

«D'aquestes aparences, n'intentem donar compte de la següent manera: nosaltres suposem que, com s'ha dit, el foc elèctric és un element comú, del qual cadascuna de les tres persones dalt esmentades té la seva part igual, abans d'iniciar qualsevol operació amb el tub. *A*, que es troba sobre cera i frega el tub, replega el foc elèctric de si mateix i l'introdueix en el vidre; la seva comunicació amb l'estoc comú, tallada per la cera, fa que el seu cos no el reemplaci de nou immediatament. *B* (que es troba sobre cera de la mateixa manera), que passa els artells arran al llarg del tub, rep el foc que es va recollir pel vidre des d'*A*; i mentre la seva comunicació amb l'estoc comú es troba tallada conserva la quantitat addicional rebuda. – a *C*, de peus a terra, tots dos li semblen estar electritzats: perquè ell té només la quantitat mitjana de foc elèctric, rep una espurna en apropar-se a *B*, que en té una quantitat més gran; però en lliura una a *A*, que té un quantitat per sota d'electricitat. Si *A* i *B* s'apropen i es toquen entre si, l'espurna és més forta, a causa que la diferència entre ells és major: després de tal contacte no hi ha espurna entre ambdós i *C*, a causa que el foc elèctric es redueix arreu a la igualtat originària. Si es toquen mentre s'estan electritzant, la igualtat no es destrueix mai, el foc només circula. Per tant han sorgit alguns nous termes entre nosaltres; diem *B* (i cossos així circumstanciats) s'ha electritzat *positivament*; *A*, *negativament*. O millor dit, *B* s'ha electritzat *més [plus]*; *A*, *menys [minus]*. I que tots els dies en els nostres experiments electritzem els cossos *més* o *menys*, quan pensem pròpiament. Per a electritzar *més* o *menys*, només es necessita conèixer el següent: que les parts del tub o esfera que es freguen fan, en l'instant de la fricció, atreure el foc elèctric, i per tant el prenen de l'estri que frega; les mateixes parts, quan la fricció sobre

apreciablement la temperatura del cos, i l'experiment de Gray mostrarà que resta a la superfície de l'objecte mentre la calor s'expandeix arreu seu.

Si més no Franklin pensava que com a molt eren modificacions d'un mateix element, o que tal vegada eren elements diferents; molts, afegeix, són d'aquest darrer parer.

seu cessa, estan disposades immediatament a donar el foc, que han rebut, a qualsevol cos que en té en una quantitat menor ».

2. QUÈ OCORRE EN L'AMPOLLA DE LEIDEN.

Carregar i descarregar l'ampolla. El paper del vidre. Alguns experiments que ho corroboren.

La tercera i la quarta carta (1 de setembre de 1747, sense dia i mes de 1748, respectivament) comenta a Peter Collinson que no pot contenir-se d'afegir alguns comentaris a la meravellosa ampolla de Musschenbroek.

L'autor no descriu l'ampolla que usa per als seus experiments, malgrat que els gràfics que incorpora mostren que seria la de Watson, un autor que esmenta sovint. Recordi's que una ampolla d'aquest tipus podria ser descrita així: un flascó de vidre amb els laterals recoberts per una fulla d'estany sense que arribi a la part superior del lateral en cap cas, amb una boca una mida ampla, tapada per un suro, pel mig del qual passa un filferro, que pot continuar per dalt en forma de ganxo, i per sota pot perllongar-se amb una cadeneta. Normalment s'omplia d'aigua, i és carregada per mitjà del ganxo o del filferro. Una vegada fet, quan algú agafava l'ampolla no trobant-se aïllat, i tocava el ganxo, experimentava la subsegüent sacsejada, etc.

Sens dubte Benjamin Franklin mantingué constantment una clara orientació inductiva: el nombre de petites proves experimentals que esmenta palesa l'assaig de cenyir la descripció del que deu ocorre al que s'esdevé de fet. Entre la tercera i la quarta carta hi ha algun canvi, qüestió que ara es pot bandejar per tal d'exposar la resultant del seu estudi.

Defensa que els usos dels termes *carregar* i *descarregar* l'ampolla es mantenen per costum, però no pas perquè hi hagi més foc elèctric en l'ampolla després de carregar-la, ni menys després de descarregar-la.

En general cal dir: l'ampolla no pot experimentar el que s'anomena *carregar* si no pot sortir tant foc elèctric de l'ampolla per un camí com n'ha entrat per un altre. Una ampolla no pot carregar-se

si està aïllada (sobre un vidre o cera, o penjada del conductor principal) i no hi ha una comunicació entre el seu recobriment (això és, la fulla d'estany que la recobreix per fora) i el terra. Comptat i debatut: per a carregar-se cal que hi hagi la possibilitat de descarregar-se per un altre cantó.

Quan una ampolla està carregada de manera normal, és a dir, que s'ha aplicat el conductor principal de l'aparell generador al ganxo o al filferro que entra pel suro, la seva superfície *interior* (electritzada doncs *positivament*) i l'*exterior* (electritzada *negativament*) estan preparades, la primera per a donar foc pel ganxo, l'altra per a rebre'l pel recobriment; la primera és plena i llesta per a llançar-ne, la segona buida i extremadament famolensa. La primera no podrà *lliurar fora* [*give out*] si l'altra no pot simultàniament *rebre dins* – i aquesta no rebrà dins si la primera no pot simultàniament lliurar fora. Quan les dues ho poden fer ocorre amb una rapidesa inimaginable, i violentament.

Estudii's ara l'important paper en tot això del vidre de l'ampolla. Aquesta, és clar, sempre té la madeixa quantitat de foc elèctric, i tots els canvis que hi pugui haver no modifiquen aquesta circumstància. Per tant el fet de descarregar una de les cares (del gruix) del vidre esdevé possible perquè suposa alhora de carregar l'altra cara (del gruix) del vidre en una quantitat igual a la perduda per l'anterior.

La restitució de l'estat original del vidre no es pot fer a través seu sinó que s'ha de fer a través d'un no elèctric [és a dir, d'un cos no elèctric, per tant conductor, cf. la nota següent i la nota 2], comunicació establerta fora, des d'una superfície a l'altra.

Així la força tota de l'ampolla, i el poder de fer una sacsejada, és en el MATEIX VIDRE [les majúscules són de Franklin]: el no elèctric en contacte amb les dues superfícies serveix sols per a *lliurar i rebre* a i des de les parts vàries del vidre.

«Això va ser descobert aquí de la següent manera: amb el propòsit d'analitzar l'ampolla electritzada per tal de trobar on residia la seva força, la col·locàrem sobre un vidre, i llevàrem el suro i el filferro que, per a aquest propòsit, havien estat posats fluixos. Després, prenent l'ampolla en una mà, i un dit de l'altra mà portat prop de la

seva boca [*de l'ampolla*], una forta espurna vingué de l'aigua, i la sacsejada va ser tan violenta com si el filferro hi hagués romàs, la qual va mostrar que la força no rau en el filferro. Després per a saber si la força residia en l'aigua, estant dins apilada i condensada, com confinada pel vidre, que havia estat la nostra opinió anterior, vam electritzar l'ampolla de nou, i col·locant-la sobre el vidre, vam treure el filferro i el suro com abans; a continuació, alçant l'ampolla, decantàrem tota la seva aigua en una ampolla buida, que també es trobava sobre vidre; i alçant aquesta altra ampolla, esperàvem, si la força residia en l'aigua, patir una sacsejada d'això; però no n'hi hagué cap. Consideràrem llavors que, o bé s'ha hagut de perdre en la decantació, o ha hagut de romandre en la primera ampolla. En això últim trobarem la veritat; perquè aquesta ampolla de prova va lliurar la sacsejada, malgrat estar plena, com ho estava, amb aigua nova sense electritzar d'una tetera. Per saber, llavors, si el vidre tenia aquesta propietat simplement com a vidre, o si la forma hi havia contribuït alguna cosa, prenguérem un vidre de finestra corredissa [*sash-glass*] i, posant-lo en la mà, col·locàrem una placa de plom en la seva superfície superior; a continuació electritzàrem la placa i, posant-hi un dit, hi hagué una espurna i sacsejada. Tot seguit vam prendre dues plaques de plom de dimensions iguals, però més petites que el vidre en dues polzades segons cada direcció, i electritzàrem el vidre entre aquelles [*plaques*] electritzant la més superior; després separàrem el vidre del plom, en fer-ho va ser eliminat qualsevol poc foc que hi pogués haver en el plom i, tocant el vidre en les seves parts electritzades amb un dit, va proporcionar només espurnes burxants molt petites, però un gran nombre podien ser experimentades des de diferents llocs. Llavors destrament col·locant-lo de nou entre les plaques de plom, i completant un cercle entre les dues superfícies, va seguir-se una violenta sacsejada – la qual cosa demostra que el poder resideix en el vidre com a vidre, i que els no-elèctrics en contacte només van servir, igual que l'armadura d'una pedra imant, per a unir la força de les diverses parts, i portar-les a la vegada a qualsevol punt desitjat: essent la propietat d'un no-elèctric que tot el cos rebí

instantàniament o lliuri tot el foc elèctric que es lliura a, o es pres de, qualsevol de les seves parts»².

3. L'EXPERIMENT DÓNA PEU AL QUE S'HI COMPRÈN.

Al costat del nombre ingent d'observacions i d'experiments el lector de Franklin es troba sorprès per l'esforç de contrast que s'hi palesa, en els seus escrits. L'autor procura en efecte d'indicar arreu l'observació o l'experiència que li permet recolzar la manera d'explicar-les. I això tant per als afers més genèrics com per als més particulars.

1. Agafi's de manera aleatòria, per exemple, la mateixa carta a Peter Collinson del 29 de juliol de 1750.

S'estableix:

«1. La matèria elèctrica es compon de partícules extremament subtils, ja que pot penetrar la matèria comuna, fins i tot el metalls més densos, amb tal facilitat i llibertat que no reben cap resistència perceptible».

Cosa que gaudeix de la següent comprovació experimental:

² En lletres posteriors (per exemple, la del 29 de juliol de 1750, que afegeix un escrit del 1749, cf. *The works of Benjamin Franklin*, by William Duane, vol.III, Filadèlfia, 1808, pàgs.53-59) insisteix contra els malentesos a propòsit d'aquest elèctric *per se* que és el vidre (els elèctrics *per se* [cf.nota 2] són aquells cossos que, de manera màxima, atrauen el fluid elèctric i el retenen amb la més gran eficàcia). Fa un esclariment curós a partir del que s'observa en l'ampolla de Leiden, i lliura i tot una explicació detallada del que s'hi esdevé en el vidre (partícules de vidre, porus, partícules elèctriques), que acaba amb aquestes paraules: «I qualsevol altre aspecte de l'assumpte que he vist, en el qual el vidre i l'electricitat s'hi troben implicats, són, crec, explicats amb la mateixa facilitat per la mateixa hipòtesi. No obstant això, qui sap, pot no ser vertadera, i estaré molt obligat a aquell que me n'ofereixi una de millor».

«2. Si algú ha de dubtar que la matèria elèctrica passa a través de la substància dels cossos, o només sobre i al llarg de les seves superfícies, un sacseig d'una sotragada d'un vidre gran electrificat, patida a través del seu propi cos, probablement el convencerà».

Es diu:

«3. La matèria elèctrica es diferencia de la matèria comuna en això, que les parts d'aquesta última s'atrauen mútuament, els de la primera es repel·leixen mútuament».

I s'afegeix tot seguit que «d'aquí la divergència que apareix en un corrent d'efluvis electrificats» [reblaria doncs la repulsió entre matèries elèctriques].

Quan afegeix que les partícules de matèria elèctrica són atretes per les de la matèria comuna, llavors remet als treballs d'Ellicot [*Essays on Electricity*, en les *Transactions*].

Noti's a continuació com va intercalant allò que fa comprendre els fets i aquests mateixos:

«9. Sabem que el fluid elèctric es troba en la matèria comuna, perquè podem bombar-la cap a fora de l'esfera o del tub. Nosaltres sabem que la matèria comuna en té gairebé tanta com en pot contenir, perquè, quan n'afegim una mica més en qualsevol part seva, la quantitat addicional no hi entra, sinó que forma una atmosfera elèctrica³. I sabem que la matèria comuna no té (en general) més del

³ «7. Però a la matèria comuna n'hi ha (generalment) tanta, de l'elèctrica, com en conté dins de la seva substància. Si s'afegeix més quantitat, aquesta es troba fora sobre la superfície, i forma el que anomenem una atmosfera elèctrica; i després el cos es diu que està electritzat».

Més avall afegeix: «15. La forma de l'atmosfera elèctrica és la del cos que embolcalla. Aquesta forma pot tornar-se visible en un aire quiet, quan puja el fum des de colofònia seca deixada caure en una cullera de te calenta sota el cos electrificat, [*fum*] que serà atret, i s'escamparà igualment per tots els costats, cobrint i ocultant el cos. I agafa aquesta forma [*l'atmosfera elèctrica*], ja que és atreta per totes les parts de la superfície del cos, tot i que

que pot contenir, en cas contrari totes les porcions soltes [*de matèria elèctrica*] es repel·lirien entre si, com ho fan constantment quan [*els cossos*] tenen atmosferes elèctriques».

2. Tot això es manté quan es parla d'afers més particulars.

Per exemple, pot lliurar la següent explicació:

«11. Si un tros de matèria comuna es troba completament lliure de matèria elèctrica, i una sola partícula d'aquesta darrera és portada a prop, serà atreta, i entrarà al cos i agafarà lloc en el centre, o allí on l'atracció és igual en qualsevol direcció. Si hi entren més partícules, prenen els seus llocs, on l'equilibri és igual entre l'atracció de la matèria comuna i la seva pròpia repulsió mútua. Se suposa que formen triangles, els costats dels quals s'escurcen a mesura que llur nombre creix; fins que la matèria comuna n'ha atret tanta, que tot el seu poder de comprimir aquells triangles per atracció és igual a la totalitat de llur poder d'expansió de si mateixos per repulsió; i llavors un tal tros de matèria no en rebrà més.

«12. Quan una part d'aquesta proporció natural del fluid elèctric es treu d'un tros de matèria comuna, els triangles formats per la resta, se'ls suposa ampliar els seus costats per la mútua repulsió de les parts, fins que ocupen tota la peça.

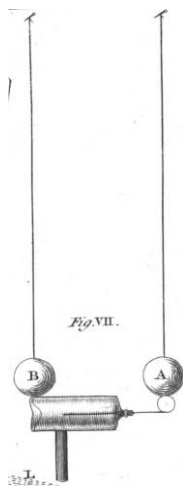
«13. Quan la quantitat de fluid elèctric, presa d'una tros de matèria comuna, es restableix de nou, hi entra, els triangles expandits són comprimits de nou fins que hagi espai per a tot».

Amb la següent experiència:

«14. Per explicar això: agafa dues pomes o dues boles de fusta o d'una altra matèria, cadascuna amb la seva pròpia quantitat natural del fluid elèctric. Restin suspeses per fils de seda en el sostre. Aplica el filferro d'una ampolla ben carregada, mantinguda a la mà, a una d'aquelles (A *Fig.VII*), i rebrà des del filferro una quantitat del fluid elèctric; però no ho absorbirà estant ja plena. El fluid per tant fluirà al voltant de la seva superfície, i formarà una atmosfera elèctrica. Porta

no pot entrar a la substància ja repleta. Sense aquesta atracció, no romandria al voltant del cos, sinó que es dissiparia en l'aire».

A en contacte amb B, i la meitat del fluid elèctric es comunica, de manera que cada una té ara una atmosfera elèctrica, i per tant es repel·leixen entre si. Emporta't aquestes atmosferes tocant les boles, i deixa-les en el seu estat natural; després d'haver fixat una vara de cera [scalingwax] al centre de l'ampolla per a aguantar-la, aplica el filferro a A, [fent que] al mateix temps el recobriment toqui B. Per tant una quantitat del fluid elèctric s'extreu de B, i es tira a A. Així que A tindrà una abundància d'aquest fluid, que forma una atmosfera a l'entorn, i B una deficiència exactament igual. Ara, porta aquestes boles de nou a tocar-se, i l'atmosfera elèctrica no es dividirà entre A i B, en dues atmosferes més petites com abans; perquè B es beurà tota l'atmosfera de A, i totes dues es trobaran de nou en el seu estat natural»⁴.



⁴ Per a Franklin l'ampolla comunica fluid elèctric positiu a A, i B lliura al recobriment (i a la part externa del vidre de l'ampolla) matèria elèctrica positiva perquè aquesta part de l'ampolla sempre ha estat en manca, es diu «carregada» negativament (cf. dalt *Què ocorre a l'ampolla de Leiden*). Però per tal que l'ampolla «funcioni» cal el conductor: aquí no hi és, i en fa les funcions el doble toc: de B al recobriment i des del filferro a A; A guanya per tant com B perd. El desequilibri és ara més gran que abans, quan B gaudia de la seva càrrega natural.

3. En diferents cartes expressa que les parts punxegudes dels cossos són especialment propenses a atraure electricitat i a perdre'n hi⁵. En lliura una gran quantitat d'experiments per a corroborar-ho, i també en fa una explicació.

Doncs bé: s'adona que *l'explicació* de la facilitat d'atraure electricitat o de descarregar-ne des del llocs punxeguts dels cossos – no del fet que efectivament és així – no el convenç molt, i afegeix unes paraules que el fan un exemple d'actitud crítica:

«18. Aquestes explicacions del poder i del funcionament de les puntes, quan se'm van acudir per primera vegada, i mentre voltaven pel meu cap per primera vegada, van aparèixer perfectament satisfactòries; però ara que les he escrites i les he considerades de més a prop, he de confessar que hi tinc alguns dubtes; però, com sigui que no tinc en l'actualitat res millor que oferir en lloc seu, no esborro res: perquè, fins i tot una mala solució llegida, i els seus defectes, ha donat lloc sovint a una de bona, en la ment d'un lector enginyós.

«19. Tampoc no té molta importància per a nosaltres de conèixer la manera com la naturalesa executa les seves lleis; és suficient si coneixem les lleis mateixes. És realment útil saber que la porcellana deixada en l'aire sense suport caurà i es trencarà; però *com* arriba a caure i *per què* es trenca són qüestions d'especulació. És en efecte un plaer conèixer-ho, però podem preservar la nostra porcellana sense això.

«20. Així, en el present cas, conèixer aquest poder de les puntes, pot ser possiblement d'alguna utilitat a la humanitat, malgrat que no el poguéssim explicar mai».

Justament la construcció de parallamps ha esdevingut molt útil.

⁵ Per exemple, les mateixes lletres esmentades del 11 de juliol de 1747, del 29 de juliol de 1750, etc.

4. L'ENORME CONTRIBUCIÓ DE FRANKLIN.

Una teoria dels fenòmens atmosfèrics. La utilitat del parallamps. Les primeres comprovacions de la natura elèctrica del llamp. Els núvols tenen electricitat negativa.

No solament estudià la utilitat dels parallamps per a la protecció dels edificis.

Si certament d'altres autors contemporanis (Wall [cf.I,1], Winkler) ja havien defensat la natura elèctrica del llamp, la importància de l'evaporació de l'aigua per a explicar l'electricitat dels núvols, fins i tot l'analogia de l'aurora boreal i les manifestacions elèctriques, Franklin lliurà també una explicació global – que no mantingué sempre en els mateixos termes – de la formació dels núvols, del perquè estan carregats elèctricament, del perquè son atrets cap a terra, de com s'organitzen les partícules elèctriques amb les d'aigua, dels efectes dels llamps sobre els cossos, del perquè les muntanyes atrauen els núvols, etc., àdhuc del perquè hi ha aurora boreal.

La primera vegada que apareix la idea del parallamps es troba en efecte en l'autor. En la carta del 29 de juliol de 1750, on pareix tot això, s'hi diu:

«Dic, si aquestes coses són així, ¿no podrà el profund coneixement d'aquest poder de les puntes ser d'utilitat a la humanitat, en la preservació de cases, esglésies, vaixells, etc., dels efectes d'un llamp, portant-nos a fixar, en el parts més altes dels edificis, les barres verticals de ferro fetes afilades com una agulla, i daurades [*gilt*] per evitar l'oxidació, i des del peu d'aquestes barres un filferro baixant per la part exterior de l'edifici cap a dins la terra, o cap avall al voltant d'un dels obencs d'un vaixell, i pel seu costat fins que arriba a l'aigua? ¿No farien aquestes barres punxegudes probablement atreure en silenci el foc des d'un núvol abans que arribés prou a prop de petar, i per tant ens posarien a recer del mal més sobtat i terrible?».

I tot seguit esmenta un experiment paral·lel, a realitzar convenientment, per a determinar la qüestió si els núvols que contenen

llamps estan electritzats o no, experiment que sols dugué a terme temps després.

Perquè si més no hi hagué a Europa un fort interès a constatar que les observacions de Franklin eren correctes. A França D'Alibard i De Lor foren els primers a provar la natura elèctrica de les tempestes⁶. Una mica més tard hi estigueren d'acord Watson a Anglaterra i Winkler a Alemanya.

Havent-se-li comunicat les proves i els resultats europeus, el mateix Franklin provà aquesta natura elèctrica de la tempesta usant un estel fet de dues varetes creuades de fusta de cedre, cobertes amb tela de seda, que portava una agulla punxeguda metàl·lica, estel mantingut per un fil, la part última del qual era aïllant i aguantat per l'investigador (cf. els detalls a la carta del 19 d'octubre de 1752).

⁶ L'Abat G.Mazeas en una lletra dirigida a Stephen Hales datada el 20 de maig de 1752 (inclosa en les edicions de les cartes de Franklin) comenta: «Els senyors de Buffon, D'Alibard, i De Lor, amb el desig de verificar les conjetures de Sr. Franklin, en l'analogia d'un tro i l'electricitat, ells mateixos es disposaren a fer l'experiment. M. D'Alibard va triar, per aquest fi, un jardí situat a Marly, on col·locà sobre un cos elèctric una barra punxeguda de ferro, de 40 peus d'alçada. El deu de maig, 20 minuts després de les dues de la tarda, un núvol tempestuós havent passat per sobre el lloc on era la barra, els qui van ser designats per observar-la es van acostar, i van atreure de la barra espurnes de foc, percebent el mateix tipus de commocions que en els experiments elèctrics comuns. M. De Lor, sensible al bon èxit d'aquest experiment, va resoldre repetir-lo a casa seva a l'Estrapada de París. Ell va alçar una barra de ferro de 99 peus d'alt, col·locada sobre una coca de resina, dos peus quadrats, i tres polzades de gruix. El 18 de maig, entre les quatre i les cinc de la tarda, un núvol de tempesta passant per damunt de la barra, on va romandre mitja hora, [M.De Lor] va atreure espurnes des de la barra, com aquelles del canó de la pistola, quan, en els experiments elèctrics l'esfera [*de la màquina productora d'electricitat*] només es frega amb el coixí, i produïren el mateix soroll, el mateix foc, i el mateix crepitat. Van atreure les espurnes més fortes a la distància de nou línies, mentre que la pluja, barrejada amb una mica de calamarsa, queia des del núvol, sense cap tro o llamp; aquest núvol estant, d'acord amb totes les aparences, la conseqüència d'una tempesta que va passar en un altre lloc.»

També li serví per a determinar l'electricitat de les tempestes una barra de ferro erigida a terra per a atraure l'electricitat de les tempestes, connectada al carilló elèctric, de manera que sonava gràcies a l'electricitat aconseguida per la barra. Amb sorpresa trobà el 12 d'abril de 1753 que els núvols tenien en general electricitat negativa⁷ (segons les seves explicacions havia de ser positiva: ara admeté que de vegades també pot ser positiva), la qual cosa implicava que l'electricitat passava del terra als núvols, i llavors els parallamps llençarien electricitat constantment des de terra per tal de fer impossible els llamps, etc., quelcom que no implicava que els afers elèctrics no continuessin com eren, o que fes inviable la utilitat dels parallamps, sinó sols un canvi de perspectiva teòrica (cf. detalls en la lletra de setembre de 1753).

Fet i fet l'estudi dels parallamps dugué al seu ús tal i com es coneix a partir d'aquells anys: el primer lloc a dreçar-ne un de fix deu ser a Mähren l'any 1754, i ja des del 1770 hi hagué a Hamburg la primera empresa dedicada a la seva col·locació.

Recordi's finalment que Le Monnier [cf.I,6,2] trobà el 1752 que l'atmosfera està constantment electritzada, fins i tot quan no hi havia cap tempesta ni cap núvol.

B. ALGUNS AVENÇOS FINS AL 1785.

Una munió d'estudiosos acompanyen Franklin en l'experimentació dels múltiples efectes de l'electricitat. S'acumulen les observacions d'afers que s'hi troben emparentats, i se cerca mitjans que en puguin lliurar alguna quantificació. El ventall dels fenòmens elèctrics es va enriquint amb constants novetats.

⁷ Ho va concloure després de provar de carregar l'ampolla de Leiden amb l'electricitat aconseguida des de la barra, i de comprovar que s'havia electritzat negativament.

1. L'ELECTROSCOPI I LA CERCA DE MESURES.

L'aparell de du Fay i de l'Abat Nollet. Les propostes de v.Waitz, Ellicott, Le Roy i d'Arcy. L'electroscopi de Canton. La idea de Priestey. L'electroscopi de Henly].

Du Fay [cf. I,3] havia indicat que els fils de seda que penjaven se separaven quan s'electritzaven, i que ho feien proporcionalment a electritzar-los més o menys. L'Abat Nollet hi trobà l'ocasió de mesurar la força de l'electricitat: feta amb cura l'experiència, un llum il·luminava els fils per tal que la seva ombra es projectés sobre una safata on mesurava la magnitud de l'angle gràcies a un arc circular graduat.

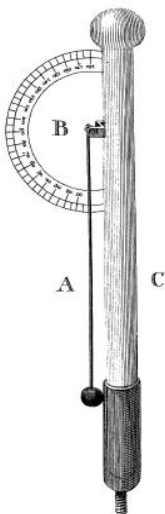
J.S.v.Waitz proposà el 1745 de posa-hi, a l'extrem del fil, unes peces de metall, de manera que sols calia atendre la seva divergència d'acord amb el fet que la força de repulsió hauria de poder ser comparada a la força d'atracció de la Terra (per la gravetat); és a dir, que hauria de poder-se calcular la força necessària, que contrarestava el pes de les peces de metall, per a fer aixecar-les, i precisament a partir del seu pes – quelcom paral·lel al que feu més tard Coulomb amb la força de torsió, que triomfà per la necessitat d'usar forces molt petites, i que els pesos eren forces massa grans.

També l'anglès John Ellicott (1706-1772) proposà de fer això: mentre un plat d'una balança era atret elèctricament hi hauria en l'altre un contrapès. El francès Jean-Baptiste Le Roi (1719-1800) i Patrice d'Arcy (1725-1779, francès d'origen irlandès) usaren una esfera de vidre amb un mànec i un plat de llautó (el mànec sobresurt per la coberta de l'aparell), enfonsada en un recipient amb aigua, de manera que en tocar aquell plat la coberta metàl·lica del recipient electritzada hi hagués una repulsió que fes sobresortir el mànec (i pujar l'esfera) una mica més, cosa que permetia calcular la força de repulsió, contraposant el rebuig elèctric i el pes del desnivell de l'aigua a partir del nou equilibri; certament l'aparell no permetia gaire precisió.

L'electroscopi, tal i com se l'usà a partir de mitjans del segle XVIII, es deu a l'anglès John Canton (Stroud in Gloucestershire, 1718-1772): constava de dues esferes petites de suro o de saüc, que

penjaven d'un fil de lli o de seda col·locat en una vareta aïllada. Quan Canton l'apropava a un cos electrïtzat l'efecte instantani era contundent, però les esferetes queien quan s'allunyava el cos electrïtzat – certament els fils de seda, sense un rebuig tan fort com les esferes, mantenien una separació després d'enretirar el cos electrïtzat.

Usà l'electroscopi en l'observació de l'electricitat de l'atmosfera, i trobà que aquesta molt sovint s'alterava: amb una tal finalitat disposava d'un aparell igual a l'emprat per Franklin i d'altres (una barra de tempesta amb un conductor lligat a la seva part inferior). Més tard Priestley va tenir la idea d'agafar un sol fil de seda i electrïtzar-lo: llavors per l'atracció i el rebuig es podria constatar la natura positiva o negativa de l'electricitat d'un cos o lloc.



Val la pena d'esmentar l'electroscopi quadrant de Willian Henly del 1772: consisteix en una vara (cf.gràfic)⁸, si pot ser de boix millor, que manté en la seva part alta final un arc d'ivori vertical i graduat, del

⁸ Extret del mateix article *An account of a new electrometer, contrived by Mr. William Henly, and of several electrical experiments made by him, in a letter from Dr. Priestley to Dr. Franklin*, Phil. Trans. 1772, **62**, 359-364.

centre del qual surt una vergella molt fina de fusta (boix) amb una boleta de suro a l'extrem inferior, vareta que pot girar quan se separa del peu de la vara; aquest peu pot ser fixat al conductor principal d'una màquina productora d'electricitat, o al botó de llautó d'una gerra o bateria directament, o establert en un peu que el suporti; llavors quan es carrega la vara es pot llegir perfectament en l'escala la quantitat de càrrega, pel fet que la bola de suro se separa de la vara d'acord amb la càrrega que hi ha, gira i mostra en l'arc d'ivori la magnitud de l'angle, amb la qual cosa és permesa una comparació de l'electricitat.

Friderich Saxtorph⁹ estudià la manera d'evitar en la mesura del possible l'electrització de l'arc d'ivori.

2. LA TEORIA DE LA INDUCCIÓ ESTÀTICA.

L'atmosfera elèctrica. Observacions de Canton contra aquesta teoria. Experiències de Wilke i d'Aepinus. Nova explicació de la placa de Franklin (i de l'ampolla de Leiden). L'electricitat és a la superfície. No hi ha sols conductors i no conductors, etc.

Dalt [I,5] ja s'ha esmentat la teoria de Winkler per la qual els cossos electritzats emetien una mena d'efluvis de tal manera que una atmosfera elèctrica els rodejava. Franklin i d'altres ho admetien.

Canton, de qui s'ha fet referència abans [II B,1], féu algunes observacions que feien poc creïble l'existència d'aquesta atmosfera. La primera provà que el vidre podria ser elèctricament positiu (per exemple, quan se'l frega amb un tros de franel·la), o elèctricament negatiu (quan se'l ilustra o refrega amb sèu), la qual cosa era un inconvenient per a una teoria de les atmosferes (com calia pensar una

⁹ És l'autor de la *Darstellung der gesamten auf Erfahrung und Versuche gegründeten Electricitätslehre: nebst einer vergleichenden Zusammenstellung der bekanntesten Theorien derselben*, Copenhagen: Arntzen und Hartier. 1803-04.

atmosfera negativa?). La segona feia així: si s'apropa un conductor aïllat a un cos electrilitzat, la part que li és propera d'aquell mostra l'electricitat contrària de la del cos, i l'altra part es troba amb la mateixa mena d'electricitat del cos electrilitzat (Franklin havia suposat que el cos que s'enfonsa en una atmosfera elèctrica l'assumeix en tota la seva superfície, mentre Canton palesa que la part que s'hi acara agafa una electricitat oposada, i que la resta la mateixa de l'atmosfera; Franklin provà d'explicar-ho sense sortir-se'n).

Johann Karl Wilke (1732-1796), a cavall entre Suècia i Alemanya, fervent partidari de la teoria unitària de l'electricitat, més tard moderadament dualista, repeteix la recerca de Canton: si un cos aïllat A és a prop d'un cos electrilitzat B, la part d'A que és acarada a B adquireix una electricitat oposada a la del cos electrilitzat, i la resta d'A la mateixa que B; quan s'allunya B, A perd aquesta doble electricitat oposada. Si s'apropa un cos punxegut a la part modificada (i acarada a B) del cos A quan està sota els efectes de B, A mostra electricitat si se li allunya B, i precisament com la de B.

L'alemany Frank Ulrich Theodor Aepinus (1724-1802)¹⁰, amic i mestre de l'anterior, combaté també l'existència d'una atmosfera elèctrica. Repetí l'experiència de Wilke: per a provar tot això agafà, amb Wilke (que llavors era a Berlín), dues taules de fusta que recobrí amb xapes metàl·liques, i les penjà amb fils de seda aïllants separades

¹⁰ Aquest investigador revolucionà l'estudi de l'electricitat i el magnetisme, i mereixeria sense dubte un treball a part. En efecte Aepinus i Wilke tendiren a adoptar una teoria de dues electricitats oposades, si més no per a explicar el comportament dels cristalls de turmalina quan s'escalfen [cf.II,B,4]. Sorprès per l'analogia entre la turmalina i el magnetisme, suposà un fluid magnètic, a semblança del fluid elèctric de Franklin, amb càrrega magnètica «més» i «menys». Tot això ho exposà en el recull d'estudis, publicats quan ja era a Sant Petersburg (a partir de 1757 esdevingué professor de física a aquesta ciutat a més d'altres responsabilitats a Rússia), *Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*, St. Petersburg, typis Academiae Scientiarum, 1759, un dels llibres teòrics sobre la matèria més rellevants de l'època. Prenent el model de Newton reduí tots els efectes elèctrics i magnètics a forces que actuaven a distància entre partícules de matèria ordinària i partícules del fluid elèctric o magnètic. En particular provà d'explicar molts dels efectes de la inducció

una polzada l'una de l'altra. Quan carregava elèctricament una la segona mostrava electricitat, però l'oposada, etc. (quan es treia l'altra com abans, etc.); i quan algú tocava les dues taules notava una sacsejada. L'afer implicava que no es mantenia l'explicació de Franklin, a propòsit de la placa [*plate*], que feia el vidre responsable de l'electricitat, i que la presència d'una electricitat major o menor estigués condicionada per l'estructura del vidre. Aepinus mostrà que, per a la producció d'una placa elèctrica, sols cal dos conductors separats per un aïllant¹¹; i defensà que l'electricitat es trobava a la superfície dels cossos, que podia saltar d'un lloc a l'altre pels llocs punxeguts o irregulars a través de l'aire, etc. Se l'ha pogut considerar el descobridor de la inducció (estàtica) elèctrica (v. Guericke de fet ja ho observà, però no la comprengué). Ultra això féu la remarca que no es pot simplement diferenciar entre conductors i no conductors, car la diferència rau en l'obstacle que introdueixen al pas del fluid elèctric, o en el temps que es necessita per a fer-lo passar.

3. LA LLEI QUE SEGUEIX LA FORÇA ENTRE DOS COSSOS ELECTRITZATS.

Dins dels vasos no hi ha electricitat. Sugerència de Priestley. Experiències de Robison. Els càlculs de Cavendish.

Convé esmentar una vegada més l'anglès Joseph Priestley (1733-1804), amic de Franklin, que, assabentat per aquest darrer d'un experiment (les boles de suro col·locades dins d'una copa metàl·lica electritzada no rebien efectes elèctrics), i volent Franklin que el repetís, el 21 de desembre de 1766 féu uns tals experiments que mostaven que quan un vas metàl·lic buit és electritzat no hi ha càrrega en la superfície interna (excepte prop de l'obertura), i no hi ha força elèctrica en l'aire de dins.

D'això extragué el següent:

¹¹ Es tracta d'una autèntica revolució teòrica a partir del fenomen inductiu que compromet l'explicació del que ocorre en la placa i en la mateixa ampolla de Leiden.

«¿No podem inferir d'aquest experiment que l'atracció d'electricitat està subjecta a la mateixa llei que la de gravitació, i per això d'acord amb els quadrats de la distància – car és fàcilment demostrat que, si la Terra fos de la forma d'un closca, un cos dins seu no fóra atret d'una banda més que d'una altra?»¹².

Independentment de la certesa que hagués cregut lliurar a la seva afirmació, la qüestió esdevé important. També l'escocès John Robison (1739-1805) determinà el 1769 la llei de forces per experiments directes: la força de repulsió entre cossos amb la mateixa càrrega era inversament proporcional a la potència 2,06 de la distància – la d'atracció de dues càrregues oposades, inversament proporcional a una potència menor que la segona; conjecturà que la potència correcta era el quadrat invers.

Així mateix el britànic Henry Cavendish (1731-1810) cregué – com es palesa en la memòria presentada el 1771 a la Royal Society – que la llei de forces entre càrregues elèctriques era «inversament com una potència menor que el cub de la distància», i trobà «probable que si l'atracció o la repulsió elèctriques són inversament com el quadrat de la distància, gairebé tot el fluid sobrer en el cos es trobaria allotjat ran de la superfície, i aplegat serradament».

4. LA TURMALINA I LA PIROELECTRICITAT.

Descoberta pels holandesos. D'altres pedres amb propietats elèctriques. Com explicar llur comportament.

Els holandesos portaren el 1703 la turmalina de Ceilan i observaren que atraïa les cendres incandescentes del carbó de torba; després es descobrí que escalfada podia atraure d'altres cossos, i el gran Linné l'anomenà l'any 1747 *lapis electricus*.

Sigui com sigui Aepinus (i Wilke) constataren que hi havia aquí un afer elèctric: no mostra cap electricitat si se l'escalfa igual per totes

¹² J.Priestley, *The history and present state of electicity, with original experiments*, Londres, 1767, pàg.732. Aquest treball esdevé fonamental per al coneixement dels primers períodes del descabdellament de l'electricitat.

parts, altrament palesa una electricitat oposada en cada cantó; per tant hi ha pols elèctrics.

Se cercaren d'altres cristalls amb propietats elèctriques: Wilson hi trobà l'esmaragda brasilera, Canton el topazi del mateix país. Després se'n descobriren molts més.

Una visió correcta del comportament de la turmalina es degué al suec Torbern Bergmann (1735-1784). El 1766 trobà que el productor de l'electricitat de la turmalina no era la calor com a tal, sinó la diferència de temperatura. Amb l'escalfament es mostra un cantó positiu, l'altre negatiu, i amb refredament s'inverteixen els pols elèctrics. Quan la temperatura del cristall roman constant llavors no es mostra electricitat, etc.

No cal afegir que anys més tard els estudis de piroelectricitat dugueren a estudiar els eixos elèctrics de diferents cristalls, i que aviat s'arribà a generalitzar el comportament d'aquests cristalls al conjunt dels cristalls, afer que, malgrat el seu interès, no tenen aquí el seu lloc¹³.

5. LA TEORIA SYMMERIANA.

Symmer defensa dues electricitats. Trets de la nova teoria. Els llistats de grups de tres cossos, i d'una electrificació oposada. Els cossos punxeguts podrien emetre també electricitat negativa (Wilke, Cavallo).

¹³ A més d'això Edmund Hoppe – «per a l'electricitat de la turmalina o, com avui s'anomena, la piroelectricitat...» – lliura un esment de l'assaig d'esclarir tots els fenòmens relacionats amb aquests cristalls (els treballs, ja en el segle XIX, d'Haüy, Rose, Riess, Hankel), porta a col·locació el que digué Canton i de nou Bergmann, i l'esforç d'explicar d'on provenen els efectes elèctrics que s'hi observen, en conjunt a partir d'estructures moleculars del cos; i fa referències als treballs – ja del segle XIX – de Becquerel, Thomson, Maxwell, Hankel, Gaugain, Jaques i Pierre Curie, àdhuc d'ell mateix, treballs prou divergents els uns dels altres, i afegeix: «sols una teoria reeixida, que esclarís totes les manifestacions i lliurés fórmules vàlides universalment ho atorgaria, això, tan poc a una hipòtesi com a una altra. El futur hi haurà de fer llum», *Geschichte*, pàg.55.

1. L'escocès Robert Symmer (1707-1763) tornà a defensar el 1759 la representació de du Fay de l'existència de dues electricitats diferents, i establí la teoria dualista de l'electricitat. Certament no explicava res que no pogués fer-ho la teoria de Franklin, però s'estimà que no s'havia d'afegir tantes hipòtesis auxiliars, i que un hom podia presentar dificultats teòriques a la unitària.

Els cossos en estat natural tindrien les dues menes d'electricitat, que se separarien gràcies al fregament (un cos obté l'electricitat positiva, l'altre la negativa) o a la inducció (hi hauria una distribució oposada en el mateix cos).

En efecte la seva noció era que els afers d'electricitat no depenen d'una única potència positiva, sinó de dues potències actives que, per contrast i com contraactuant l'una amb l'altra, produeixen els varis fenòmens elèctrics. Quan es diu que un cos està electrilitzat positivament no és simplement perquè té més electricitat que en el seu estat natural – o que està electrilitzat negativament per tenir-ne menys –, sinó que en el primer cas hi ha una part més gran d'una aquelles potències actives, en el segon una part més gran de l'altra potència activa; i el cos està no electrilitzat quan les dues potències elèctriques en aquell cos s'equilibren l'una amb l'altra.

Tot això fou prou útil per als descobriments que s'anaven fent

Dalt [II B.2] s'ha dit que Canton havia defensat que el vidre podia esdevenir elèctricament positiu i negatiu. Wilke ho trobà també (el tub de vidre fregat a través amb una pell amb pèls es fa positiu, si es frega en la direcció del tub es fa negatiu); és també l'iniciador dels lliuraments de grups de tres cossos (que aquí cal llegir de dalt a baix), el primer dels quals fregat amb el segon es fa positiu, fregat amb el tercer mostra electricitat negativa, per exemple:

<i>vidre polit</i>	<i>fusta</i>	<i>cera blanca</i>
<i>drap de llana</i>	<i>paper</i>	<i>vidre poc polit</i>
<i>canó d'una ploma</i>	<i>laca</i>	<i>plom</i>

Aepinus havia observat que dos cossos fregats constantment l'un amb l'altre mostraven electricitat, l'un era electrilitzat positivament,

l'altre negativament: dos trossos de vidre de mirall fregats eren elèctricament oposats, i tornaven a ser elèctricament iguals quan es tornaven a tocar l'un amb l'altre.

Les dues superfícies d'un suro tallat són elèctricament oposades, com descobrí Canton, etc.

Malgrat que Wilke i tot tractà d'explicar-ho primer en termes de la teoria frankliniana, eren les observacions escaients per a abandonar-la. El mateix Franklin féu un descobriment difícil de fer-lo compatible amb la seva explicació: la temperatura pot fer que un cos, que era elèctricament positiu, pugui ser elèctricament negatiu, àdhuc pot fer un conductor d'un no conductor.

Tot plegat féu també que els autors agafessin algunes precaucions a l'hora de confeccionar sèries de cossos que respondrien amb diferents electricitats segons les circumstàncies, quan hi podria haver d'altres variable a més de la natura del cossos, malgrat que els llistats es poden trobar en prou autors posteriors (Young, Faraday, Riess).

2. Van ser els efectes de les puntes que convenceren Wilke de la imperfecció de la teoria frankliniana. Si fins llavors la fuga d'electricitat dels cossos punxeguts s'havia circumscrit a l'electricitat positiva, Wilke palesà que també l'electricitat negativa fa el mateix. En efecte era fàcil de mantenir aquell vessament des dels cossos punxeguts per a l'electricitat positiva quan es conservava la teoria de l'atmosfera: un hom podria defensar bé – en aquest cas d'electricitat positiva – una aspiració de l'atmosfera per un altre cos, però no una expulsió d'aquesta mateixa atmosfera per aquest altre cos.

Tanmateix Wilke, que mostrà que, en els elements punxeguts, no sols s'hi manifesta la llum d'efluvi [*Glimmlicht*], sinó que també surt un ventet capaç d'apagar un llum o de produir una ona sobre una superfície líquida, digué que això lliura una dificultat rellevant per a una teoria de l'electricitat com la de Franklin. Per a defensar-ho es basava que, en l'experiment de la roda voladora de Gordon esmentada

dalt [I,4]¹⁴, les partícules d'aire veïnes esdevenen per comunicació elèctricament en el mateix sentit que les puntes, les quals partícules llavors se n'allunyen, produeixen «el vent elèctric», que creix amb l'electricitat de les punxes, de manera que pot posar en rotació rodes lleugeres. L'esclarament feia indiferent si l'electricitat de la punta era positiva o negativa. Poc després Cigna defensà que la rotació dura el temps que tarda a electritzar-se tots els voltants: la roda col·locada en una capsula metàl·lica aïllada cessa de rodar tan aviat com es carrega la capsula amb la mateixa electricitat que les puntes. Tiberius Cavallo (1749-1809), un italià establert a Londres, ensenyà que en aire enrarit la rotació desapareix (no hi hauria prou aire per a produir efectes repulsius).

6. LLUM ELÈCTRICA EN ESPAIS ENRARITS.

El fenomen vist en el baròmetre (Picard, Bernoulli, Hawksbee, Ludolff, Du Fay, Musschenbroek, de Luc). Els fenòmens elèctrics dins d'un tub buit (Grummert, Hawksbee).

1. Ja el 1675 el francès Picard havia observat una llumeta clara en l'espai buit d'un baròmetre, mentre hi havia un cert balanceig del mercuri quan el portava. El suís Johannes Bernoulli (1667-1748) el 1700 creia haver-se descobert amb això el fonament de la resplendor, que rauria en el sacseig del mercuri i que estaria condicionat essencialment per la netedat de la superfície. Hawksbee [cf.I,1] mostrà el 1706 que l'origen del fenomen era la fricció, i el berlinès Christian Friedrich Ludolff (1707-1763) ho tocà en un tractat del 1745 explícitament: l'origen és el fregament del mercuri en el tub de vidre, que produeix electricitat (quan en la part alta del baròmetre es col·loca, envoltant-la, un casquet de vidre, dins de la qual hi ha fils suspesos en un aire enrarit, en fer sacsejar el mercuri del baròmetre els fils s'electritzen).

¹⁴ Recordi's: una estrella giratòria sobre un punxó central on es manté. Els extrems són puntes una mica doblegades cap enrere: quan se l'apropa a un generador elèctric la rodeta es posa immediatament en rotació.

Per què la resplendor no apareix en tots els baròmetres? Du Fay digué que es mostrava en aquells muntats totalment sense aire, Musschenbroek defensà el contrari. El suís Jean-André de Luc (o Deluc, 1727-1817) el 1776 afegí que cap dels dos no tenia raó: el fenomen s'esdevindria quan les superfícies del mercuri i del vidre estan totalment netes i quan la part alta del baròmetre encara té quelcom d'aire o de vapor de mercuri, i precisament la resplendor es mostra a través d'aquesta part alta; quan no hi ha aire o vapor, o massa poc, llavors el fenomen es mostra a la superfície del vidre.

D'aquestes coses, se n'ocuparen més tard d'altres autors (per exemple, Riess).

2. Emparentada amb tot això la investigació de Gottfried Heinrich Grummert (Biala [Silèsia], 1719-1776) trobà que un tub de vidre sense aire resplendia dins seu quan el refregava, experiència repetida per Watson, Canton i Wilson.

Les observacions de Hawksbee de manifestacions lumíniques, ja s'ha esmentat, són anteriors: amb l'antecedent de Picard, i veient que la brillantor màxima no es trobava en una qualsevol amplada de tub, suposà que es tractava d'un afer elèctric produït per la fricció, del mercuri sobre vidre. Per això col·locà una esfera de vidre buida sobre un eix giratori i fregà l'esfera amb la mà, l'electricitat, bombà l'aire per fer el buit, i li aparegué la mateixa resplendor.

No cal dir que les recerques continuaren en aquesta direcció en autors posteriors a aquesta època¹⁵.

¹⁵ El fenomen s'interpretà en aquests autors posteriors com un afer d'electricitat induïda; mentre sobre la cara externa de l'esfera (o del cilindre), gràcies al fregament, es produïa electricitat, aquesta induïa l'electricitat contraposada en la cara interna. La prova era que, si la cara interna de l'esfera o cilindre, deixant les parts extremes, es cobreix amb una capa gruixuda d'una brea, i es frega la cara externa amb la mà ben seca, llavors es reconeix a la cara interna el perfil resplendent de la mà.

7. FOSFORESCÈNCIA I ELECTRICITAT.

La pedra bolonyesa. Un fenomen elèctric: Lane. Confirmació per Seebeck. El fòsfor (Canton). Josep Heinrich.

Potser val la pena d'afegir quelcom sobre l'emissió de llum en els cossos fosforescents.

La primera vegada que s'observà el fenomen fou a propòsit de la pedra bolonyesa, anomenada així perquè fou produïda a Bolonya el 1604 des de la baritina (o espat pesant). Aquell cos, il·luminat primer per la llum del dia, emet una resplendor roja sanguínia a les fosques durant minuts.

La connexió entre fosforescència i electricitat fou provada primerament per l'anglès Lane (1734-1807): les espurnes elèctriques de descàrrega sobre un tros de marbre, tot a les fosques, feien que aquest marbre mostrés una resplendor durant una estona. En lloc de marbre es podia usar també qualsevol cos calcari, paper, una teula, un maó.

Per la seva banda Canton defensà que la causa principal de la resplendor no era l'electricitat, sinó únicament la llum, però no ho féu sense inconvenients. Fou més tard que Thomas Johann Seebeck (Reval [Estònia], 1770-1831) provà que l'efecte d'aquesta llum elèctrica sobre els cossos fosforescents era el mateix que el de la llum del Sol.

Canton també està associat a la producció d'una nou producte fosforescent artificial i prou conegut, el fòsfor, mitjançant la col·locació de closques d'ostra calcinades i flor de sofre en un gresol, i mantenir-hi un grau de calor moderada.

Aquí sols es pot esmentar els estudis, ja posteriors a aquests anys, del benedictí bavarès Josep [Placidus] Heinrich (1758-1825) i d'altres sobre el comportament del fòsfor i de prou cossos fosforescents, o fets fosforescents per descàrregues elèctriques, on s'anà confirmant el paral·lelisme entre la llum del Sol i la llum elèctrica, etc.

C. MÉS AVENÇOS FINS AL 1785.

El nombre d'estudiosos que s'incorporen a les recerques d'electricitat palesa l'interès creixent pel fenomen. Entre aquests s'hi troba Alexandro Volta, del qual cal oferir unes notes dels seus primers descobriments, que ja mostren l'alçada de l'investigador, i que permeten d'afegir d'altres troballes d'aquest període.

1. ALGUNES APORTACIONS DE BECCARIA.

El magnetisme de la Terra. La resistència elèctrica. Encara la placa de Franklin. Explicació de l'autor.

Al professor Giacomo Battista Beccaria (Mondovi, 1716-1781), se li deuen nombroses investigacions. Cercà, entre d'altres afers, d'explicar el magnetisme de la Terra a través d'un corrent elèctric al voltant seu; fou el primer que aconseguí de carregar fortament àdhuc trossos de lacre; precisà que tant els conductors com els no conductors oferien una resistència al pas de l'electricitat (sols es diferenciarien per la magnitud d'aquesta resistència), etc. Apunti's aquí les seves investigacions sobre la càrrega de les plaques de vidre, publicades l'any 1769.

En efecte repeteix la investigació de Franklin amb la placa de vidre, i féu l'observació que, si es carrega una placa de vidre, i amb precaució s'enretira un dels revestiments metàl·lics d'una cara; si després es col·loca en la cara lliure un altre plat gruixut de vidre, i finalment un revestiment metàl·lic sobre la cara lliure restant d'aquest darrer plat, llavors hi ha una potent descàrrega si s'uneix les dues capes metàl·liques. Beccaria volia mostrar amb això que l'electricitat no es trobava en la làmina metàl·lica, sinó sobre la superfície del vidre.

Malgrat reconèixer correcta la teoria de Symmer de les dues electricitats, en l'esclariment de la placa de vidre més aviat suposa la de Franklin. A grans trets faria així: per a Beccaria, quan es carrega l'aparell, la superfície positiva del vidre lliura electricitat positiva a un dels revestiments metàl·lics, mentre el segon revestiment retorna la

mateixa quantitat d'electricitat a la cara de vidre que li és oposada; amb la descàrrega la superfície de vidre recupera l'electricitat del revestiment positiu, i tanta com en lliura a la làmina amb càrrega negativa. Això es repetiria en descàrregues successives fins que tot restés en l'estat inicial.

L'esclarament de Beccaria no tingué molta fortuna, però donà peu a una important troballa de Volta.

Remarqui's que tot això formarà part de l'horitzó del problema de Volta.

2. A PROPÒSIT DE L'ELECTRICITAT ATMOSFÈRICA.

Franklin, Canton, Le Monnier, i d'altres, observaren ja que en l'aire hi ha sempre electricitat. El mateix Beccaria ho defensà, afegí que normalment s'hi trobava electricitat positiva, i que hi havia tres circumstàncies que feien que no n'hi hagués, d'electricitat. El dies clars i ventosos; quan el cel es troba tapat per núvols separats i negres que tenen molt poc moviment; quan hi ha un aire molt humit no havent plogut. Alhora volgué explicar totes les manifestacions meteorològiques sols per mitjà de l'electricitat de l'aire: faria unir en un gota les partícules de vapor que es troben en l'aire, la mida de les quals gotes dependria de la intensitat elèctrica de l'aire; la calamarsa es produiria en les capes altes i fredes on hi hagués molta electricitat (l'atracció és gran): si menor, llavors hi hauria neu; també cregué poder explicar així els estels fugaços, les mànegues, etc.¹⁶

¹⁶ El 1780 Lavoisier i Laplace descobrien que, en fer evaporar aigua en un recipient metàl·lic, l'aparell es feia elèctricament negatiu, el vapor positiu. Volta arribà el 1782 a unes resultants semblants. Tot això féu creure que s'havia arribat a trobar l'origen de l'electricitat atmosfèrica: rauria en l'evaporació. Franklin i l'anglès Ebenezer Kinnersley (1711-1778) ja havien fet observar que l'electricització de l'aigua exigiria evaporació.

[Certament l'evaporació de l'aigua no és la responsable de l'electricització: si més no ja Reich i Riess defensaren el 1846 que l'origen estaria en el fregament; l'aigua destilada no produeix cap electricitat per evaporació – les impureses bastarien per a fer-ne. És clar que l'explicació del seu origen no acabà aquí. A més l'evaporació de l'aigua en la superfície de la Terra, i el

3. L'ELECTRÒFOR DE VOLTA.

Forma, tortó i tapadora. Com es prepara el tortó. Cavallo ho simplifica.

Alessandro Volta (Como, 1745-1827) dugué a terme moltíssimes investigacions. En aquest període abans de Coulomb cal destacar un escrit del 1771 on, a més de rebel·lar-se contra Beccaria, descriu l'aparell que anomenà «elettroforo perpetuo» i que fou molt ben acollit pels seus contemporanis.

L'aparell recull una idea de Wilke del 1762 d'un revestiment mòbil d'una placa de vidre¹⁷ amb la provatura beccariana, ara fent-hi un tortó [*Kuchen* en alemany, *press* o *oil cake* en anglès] de lacre i de resina.

Constava de les següents part: 1) La que s'anomena plat [*piatto*] o forma, que és metàl·lica, rodona i polida. 2) L'anomenada el tortó, un plat prim o placa de matèria no conductora (vidre, resina, pega, sofre, etc.). 3) L'anomenada tapadora o plat superior, metàl·lica i subjectada per cordills de seda.

La forma consisteix en un disc metàl·lic o un tros de fusta seca recoberta per una fulla d'estany. Les seves vores pugen un centímetre per a evitar que s'hi escoli la resina. El tortó no ha de sobrepassar el nivell de les vores, cal que presenti una superfície del tot plana sense clivelles ni bombolles, i s'ha d'ajustar del tot amb el plat o forma.

Volta escollí, per a fer el tortó, una massa fosa conjuntament de tres parts de trementina, dues parts de resina, i una de cera, a les quals després de foses i barrejades s'hi afegia mini. [Per al tortó anaven molt

corresponent fregament com la font preferent de l'electricitat de l'aire, deixava oberta la qüestió del sovint caràcter canviable d'aquesta electricitat, així com la troballa de quelcom amb certesa a propòsit del descabdellament dels fenòmens tempestuosos].

¹⁷ Franklin havia fet una part rellevant de la seva recerca amb una placa de vidre recoberta pels dos costats amb una fulla d'estany, que ja havien usat Smeaton [I,6.3] i l'anglès John Bevis (1695-1771), però que fou anomenada per tothom, després d'aquell autor, la placa frankliniana.

bé la resina, la goma laca i la colofònia: la cera i la trementina servien per a evitar que la massa s'esquerdés. Quan tot havia quedat ben lliscós es posava la massa en un drap gruixut de tela i s'emmotllava d'acord amb la forma; fent-ho mantenien un hom una xapa de ferro calenta sobre la superfície, restant a una distància d'un centímetre, per tal d'aconseguir que fos llisa com un mirall].

Finalment la tapadora és de xapa de metall i el seu diàmetre ha de ser 4 o 5 centímetre més petit que el del tortó. Pot tenir una nansa amb algun aïllant.

L'electròfor fou prou ben acollit i aviat se'n feren de moltes mides diferents.

Cavallo en féu una simplificació: el tortó era un plat de vidre recobert d'una barreja de resina, lacre i sofre, que posava directament sobre la taula o sobre un disc d'estany. La tapadora era com la de Volta. L'aparell fou un precursor d'aparells semblants posteriors.

4. LA TEORIA DE L'ELECTRÒFOR DE WILKE.

Admissió de dues electricitats. Dues electricitats oposades a la tapadora: com ho sabé. Alguna precisió de Riess i de von Bezold. És un generador electrostàtic: com funciona.

Mentre Volta féu la troballa de l'aparell, Wilke ja hauria donat la seva teoria el 1762 (perquè al cap i a la fi és la de la placa frankliniana), i l'electròfor li lliurà l'oportunitat de prosseguir la seva investigació. El seu tractat del 1777 es considerarà més tard la completa teoria de l'aparell. Fet i fet alguns han volgut atribuir a aquest autor l'honor d'haver-lo inventat, l'electròfor.

Si en l'estudi del 1762 topà ja amb dificultats en l'ús de la teoria frankliniana, en el del 1777 hi renuncia i diferencia entre dues electricitats (que anomena electricitat foc i electricitat àcida, respectivament, la positiva i la negativa).

Wilke frega la superfície del tortó amb un coixí de pell i el carrega negativament. Després posa la tapadora i hi apareixen dues electricitats oposades: una de positiva dirigida al cantó del tortó, i una de negativa en la part alta.

Com ho sabia? Cregué que era la conseqüència de la següent observació: va agafar dos plats metàl·lics, els lligà l'un amb l'altre amb cordons de seda de manera que pengessin paral·lels l'un sota l'altre, mentre proveí el més alt d'un agafador. Col·locà després els dos plats tocant-se l'un amb l'altre, sobre el tortó; després alçà els plats amb l'agafador sense tocar-los, de manera que pengessin separats gràcies al cordó: llavors el de sota mostrà electricitat positiva, el de sobre negativa. Si un hom els tocava abans d'alçar-los, després de fer-ho el superior no tenia cap electricitat i l'inferior en gaudia, de positiva.

Si en lloc d'aquest doble plat s'hi posava la tapadora habitual, llavors no s'hi mostrava, en la tapadora, després d'alçar-la, cap afer especial si un hom no l'havia tocada abans d'alçar-la – la cara inferior positiva i la cara superior negativa es trobaven de nou juntes. Es tocava, però, la tapa abans d'alçar-la, i aleshores tota la tapadora mostrava electricitat positiva una vegada aixecada¹⁸.

¹⁸ Al segle següent Riess (1804-1883), a *Die Lehre von der Reibungselektrizität*, 2 volums, Berlin 1853, lliurà algunes precisions més. Per exemple, que el tortó mostrava tres capes d'electricitat, negativa (resultat del fregament), positiva i negativa (per inducció), de dalt a baix. L'electricitat negativa de la capa inferior es derivava. Llavors s'acumula l'electricitat positiva en la capa inferior, de manera que el tortó resta distribuït en dues capes, negativa i positiva.

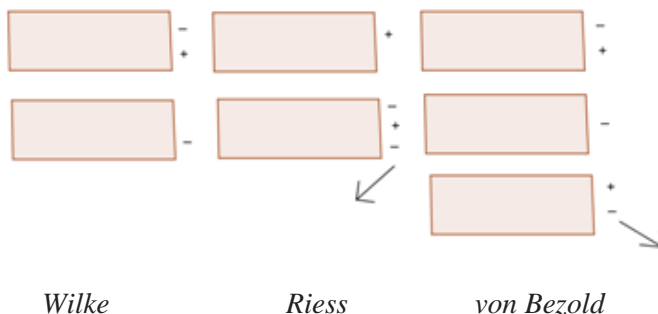
Precisament el caràcter elèctricament oposat de les dues capes, que s'atrauen, impedeix una fuga elèctrica per la superfície.

Si es deriva ara alguna classe d'electricitat es torna a produir a partir de la que roman.

Cobreixi's el tortó amb la tapadora: l'electricitat positiva de la capa inferior de la tapa i la superior del tortó s'atrauen. Ocorre que quan es troben l'afer no impedeix un intercanvi per punts que estan breument en contacte de la tapa i del tortó, on es produeix una descàrrega, però en cap cas no afecta tota la superfície del tortó.

S'explica doncs que el dielèctric del tipus d'un tortó de resina, tapat, pugui mantenir l'electricitat durant setmanes i mesos, etc.

Posteriorment el 1870 Wilhelm von Bezold (1837-1907) en lliurà un altre esclariment, de l'electròfor, que evita la terna d'electricitats en el tortó. El fregament fa elèctricament negativa una cara del pastís, que indueix la forma.



*

L'electròfor és un generador electrostàtic. Potser val la pena de copiar algun resum del seu funcionament en termes més d'avui, per exemple el següent, prou documentat, extret de la viquipèdia:

En primer lloc es frega la superfície superior de la coca de resina o de la làmina aïllant amb la pell de gat o conill (pel costat dels pèls), o amb un teixit de llana, per tal que la superfície quedi carregada negativament per fricció. Una vegada que l'aïllant està carregat, s'acosta el disc metàl·lic sostenint-lo pel mànec aïllant, de manera que tant el disc conductor que fa de tapadora, com la coca de resina o làmina aïllant, es polaritzen, situant-se les càrregues negatives del conductor en la superfície superior com a conseqüència de la repulsió exercida per les càrregues negatives que el material aïllant té en la seva superfície.

Es col·loca el disc conductor sobre de l'aïllant, en contacte. Com l'aïllant té excés de càrrega negativa el seu potencial és negatiu; quan es toquen, el potencial del disc metàl·lic neutre passa també a ser negatiu.

Es connecta el disc conductor a terra (si no es té alguna cosa que serveixi de presa de terra, només cal que es toqui amb un dit); com el terra està a potencial de 0 V i el disc metàl·lic té un potencial negatiu, el disc tendeix a

La cara superior de la forma esdevé positiva, la de sota negativa; l'última es deriva, i una part de l'electricitat positiva de la forma passa en petites espurnes a la cara inferior del tortó, part inferior que llavors mostra aquesta electricitat positiva, etc.

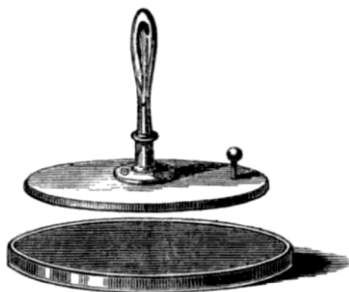
perdre càrrega negativa. S'origina un corrent de càrrega negativa (circulació d'electrons) des del disc fins a terra, que cessa quan el potencial de l'aparell és 0 V. Això succeeix quan el disc queda carregat positivament perquè el seu potencial positiu s'anul·la amb el negatiu generat per l'aïllant, de manera que el potencial total és de 0 V. Dit d'una altra manera, així es deriva a terra el potencial de la cara superior del material aïllant.

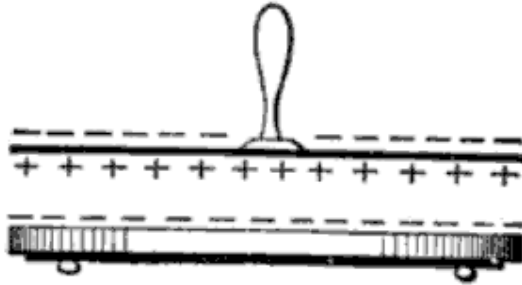
Es desconnecta el disc metàl·lic de la presa de terra, el potencial elèctric segueix sent de 0 V.

Se separa el disc metàl·lic de l'aïllant, agafant-lo pel mànec, ja que si es toqués el disc amb la mà, en el moment en què s'allunyés el disc de la làmina aïllant, com sigui que el potencial del disc passa de 0 V a un potencial positiu, tocant-lo els electrons del cos anirien al disc, descarregant-lo. Car aquesta acció d'allunyar el disc, del material aïllant carregat, és la que induïx en el disc metàl·lic una càrrega.

Ara el disc metàl·lic ha quedat carregat positivament; si té una càrrega suficient i s'acosta un dit al disc sense tocar-lo, es veurà que salta una espurna entre el dit i el disc, que contribuirà a descarregar-lo.

La càrrega del disc metàl·lic pot emprar-se per diferents experiments. Per exemple, si es posa el disc en contacte amb un conductor aïllat, es comprovarà que la càrrega pot ser transportada a distància. Com la càrrega estàtica que la base dielèctrica va adquirir per fregament no desapareix durant el procés de carregar el disc conductor, aquest pot tornar a carregar-se moltes vegades sense necessitat de fregar novament. Això és així, perquè l'energia emprada per carregar el disc no és subministrada per la càrrega de la base dielèctrica, sinó pel treball mecànic de separar el disc de la base. És per aquesta raó que Volta el va anomenar *elettroforo perpetuo*. En realitat, se la faci servir o no, la càrrega de la base dielèctrica va perdent-se lentament al llarg de les hores o dies, sobretot si hi ha una humitat alta en l'ambient, a causa de la recombinació amb les partícules de l'atmosfera que posseeixin càrrega de signe oposat.





5. LES PÓLVORES ELÈCTRIQUES.

Lichtenberg: la caracterització + i -. Pólvores de resina sobre el tortó. Explicació de Cavallo. Llimadures de ferro de Bennet. L'experiment de Villarsy. Precisions de von Bezold. Els colors del prisma en el metall.

La importància de l'alemany Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799) també en els afers elèctrics ho mostra el fet que, a banda de ser un ferm partidari de la teoria dualista, fou qui dugué la

caracterització de l'electricitat a través dels símbols + i - a ser acceptada universalment.

Una de les seves troballes (1777-78) féu arrancar noves investigacions. Sobre un tortó ja excitat col·locà un compàs de tres peus i hi aplicà una espurna d'electricitat positiva. Tragué després el compàs amb un aïllant i empolsà el tortó amb unes pólvores fines de resina tamisada amb un drap de tela; les pólvores al voltant dels llocs on eren els peus del compàs agafaren la forma d'una estrella, amb punxes, mentre la resta del tortó es quedà sense pólvores. Si es girava el tortó i es feia la mateixa operació, però ara s'hi aplicava sobre la cara positiva una espurna negativa, al compàs, llavor els únics punts no recoberts per pólvores esdevenien justament aquells on eren els peus del compàs.

Aquest descobriment dugué a d'altres investigacions. Cavallo, per exemple, trobà (1780) que les pólvores de resina i de sofre tamisades amb un drap esdevenien elèctricament negatives, i esclarié per consegüent les figures de Lichtenberg per l'atracció i la repulsió entre cossos electritzats. L'anglès Abraham Bennet (1750-1799) trobà (1787) que les llimadures de ferro es feien elèctricament positives quan es tamisen, etc.

Val la pena d'esmentar també aquí el descobriment (1788) del francès Dominique Villars (1745-1814): barrejà i tamisà amb un drap de mussolina flor de sofre (negatiu) amb mini (positiu) i féu de nou les figures lichtenbergianes; en el primer cas tota la superfície del pastís era coberta pel vermell del mini, excepte que s'hi feien les estrelles grogues – en el segon cas la superfície era coberta de groc i els llocs ocupats pels peus del compàs eren unes taques roges en forma de cercle sense punxes¹⁹.

¹⁹ Molts anys després von Bezold féu notar que el fet que el tortó atragués pólvores negatives no implicava que la superfície d'aquell fos positiva perquè les pólvores podien ser atretes per les capes inferiors positives.

A més apuntà, entre d'altres observacions, que si una espurna cau sobre l'electròfor les pólvores es disposen radialment si l'espurna és positiva, segons formes rodones si és negativa. Si sols està electritzada la capa inferior del tortó les pólvores s'escampen uniformement per una gran part de la capa superior.

Lichtenberg féu notar també que les figures de pólvores sols reeixien si la descàrrega era descontínua; i quan les pólvores que queien sobre el pastís ho feien en un aire enrarit es perdia la diferència entre les figures positives i negatives.

També produïa dibuixos sobre el pastís de l'electròfor de la següent manera: usava una forma com a motlle dels dibuixos, que rebia electricitat d'un generador extern després de col·locar-la sobre el pastís. Llevada la forma, els llocs on havia tocat el pastís, amb electricitat rebuda, eren empolgats amb *semen lycopodii* [*lycopodium clavatum*] o d'altres pólvores no elèctriques, amb la qual cosa es formava les figures per llur retenció en els llocs electrilitzats²⁰

6. L'ELECTROSCOPI DE VOLTA.

Descripció de l'aparell. Bennet hi introdueix laminetes d'or.

L'electroscopi de Volta de l'any 1781 tingué molta difusió: dos brins de palla de dos polzes de llarg i un quart de línia d'amplada; se'ls fa dos petits forats en un dels caps per on es fa passar un fil de plata de tal manera que restin agafats per la bagueta de plata i puguin restar penjats lliurement; l'aneta de plata s'uneix fermament amb un fil de coure, fil que passa verticalment a través d'una tapadora de fusta, sobresortint per dalt i fent-lo acabar amb un pom metàl·lic; els brins de palla pengen doncs dins d'un atuell de vidre (des de la tapa); davant per davant d'aquells, i sobre la cara interna de l'atuell, hi ha una tira de fulla d'estany que arriba fins a la base del pot, i a través seu en contacte amb el terra. Per tal de poder mesurar l'electricitat originada per l'electrització del pom hi ha una banda de paper, amb

²⁰ D'altra banda Priestley, que ja s'ha esmentat com l'autor d'una voluminosa història de l'electricitat, trobà (1766) que l'espurneig sobre una placa de llautó des d'una vara de llautó produïa, després de trenta o quaranta descàrregues sobre un lloc, una taca d'una extensió d'una polzada de diàmetre amb els colors de la descomposició de la llum blanca feta pel prisma, agrupats en forma d'anells. Era indiferent si l'electricitat era positiva o negativa, etc. Beccaria també aconseguí que aparegués l'anell newtonià de colors a les vores del revestiment de full d'estany de plaques de vidre després d'haver carregat el full d'estany.

divisions marcades, sobre la cara externa del vidre a una alçada convenient.

La natura higroscòpica de la palla (i per tant la facilitat d'enganxar-se els brins) feren que el 1787 Bennet els substituís per laminetes d'or, amb la resta semblant; a través de la tapadora passa una vara de conducció amb el pom (de vegades el pom era substituït per un disc del condensador), vara normalment de llautó i que es vernissava o es tapava amb un tub de vidre per a evitar la presa d'electricitat de l'aire; a l'altre extrem de la vara, és clar, s'enganxaven amb clara d'ou les tires d'or. La fàcil mobilitat de les fulletes d'or feia l'aparell molt sensible, malgrat que els mesuraments no es podien acabar de fer del tot bé²¹.

7. EL CONDENSADOR DE VOLTA.

Mesurament de l'ampolla de Leiden per Lane i de Lafond. Recerca de Volta. Dos discos metàl·lics vernissats. Com treballa l'aparell. S'usa per a conservar l'electricitat (Volta) o per a carregar-ne molta (Bennet). Més progressos de Bennet, Cavallo i Lichtenberg.

El britànic Timothy Lane (1734-1807) ideà un complement (1767) per a l'ampolla de Leiden que podria servir com una mesura de la seva càrrega: bàsicament consistia a apropar el botó del fil metàl·lic que entrava a l'ampolla i una tira de llautó que anava a parar al cobriment extern. La mesura de la descàrrega a través de l'aire entre l'un i l'altre permetia la comparació amb d'altres casos. El 1781 el francès Sigaud de Lafond (1730-1810) millorà l'aparell introduint un cargol per a fer desplaçar la tira de llautó.

²¹ A Bennet també se li deu el començament de l'ús de llums (amb flames) en el pom per a augmentar la sensibilitat dels electroscopis a fi i a efecte d'estudiar l'electricitat que hi ha en l'aire, com feu conèixer l'any 1786. Per cert que Lichtenberg construí l'any 1779 un aparell registrador de l'electricitat de l'aire que ho podia fer en absència de l'observador a través d'un mecanisme de rellotgeria associat.

Mentrestant les investigacions de Volta amb l'electròfor el portaren l'any 1782 a un aparell que, com havia de servir primerament d'aparell acumulador, va ser anomenat *condensador* per ell mateix.

En efecte un electròfor totalment descarregat amb una capa de resina molt prima, que es cobreix amb la tapadora, palesa el següent: àdhuc quan es toca la tapa amb una font molt feble d'electricitat (per exemple, d'una ampolla de Leiden descarregada), de manera que no sembla que hi hagi gens d'electricitat en l'electròfor, s'esdevé que, en llevar la tapadora, aquesta mostra unes restes notables d'electricitat. Això el portà a parlar de «condensador».

Però era necessari prendre moltes precaucions perquè fàcilment (per exemple, per fregament de la tapadora, de l'acció de mateix estudiós, etc.) es podia produir electricitat que podria fer malbé l'experiència (Volta arribà a recomanar que es posés la tapadora al Sol o que se li passés una flama per a descarregar-la del tot).

Per evitar contratemps ideà de col·locar, en lloc del tortó, una fusta seca o marbre com a mig conductor – i suprimí la forma –, de manera que el mig conductor feia d'aïllant cara a la tapadora, però alhora suficientment conductor per tal que hi hagués l'electricitat induïda.

Certament Volta tingué dificultats a l'hora de trobar materials que poguessin fer de mig conductor: marbre, alabastre, àgata, calcedònia, ivori, fusta amarada d'oli de llinosa. Si alguns no donaven bons resultats els cobria amb vernís, de manera que arribà al condensador tal i com després se'l conegué: dos discos metàl·lics, els dos ben vernissats.

Val la pena d'observar que Volta estava interessat en l'aparell pel fet que conservés molt de temps l'electricitat, encara que fos amb petites quantitats.

L'aparell funciona de la següent manera: es comunica electricitat positiva a la tapadora («el disc col·lector» [*Kollektorplatte*], segons Riess), separada de l'altre disc (el disc condensador), que era sota, per una doble capa de vernís; llavors el primer disc li indueix electricitat, al segon disc, negativa per la banda del primer, positiva per la més allunyada. Aquesta darrera se la deriva cap al terra de manera que sols roman l'electricitat negativa en aquest disc. Llavors, si se separa el

disc col·lector, l'altre resta carregat negativament: faci's tota l'operació diferents vegades, i es pot anar fent més gran l'electricitat del plat condensador.

Es volia usar el condensador per a carregar-lo molt, llavors se seguia Bennet, i no Volta, tal i com ho digué Riess a *Reibungselektrizität*; ja s'ha esmentat que aquell col·locava el disc condensador damunt de la vara de conducció de l'electroscopi. Pel cap baix se'l pot carregar força a partir de posar en contacte el disc col·lector amb l'ampolla de Leiden o amb un qualsevol generador.

Bennet féu també una passa més: sobre un peu de vidre aïllant col·locà horitzontal un plat metàl·lic *A*, recobrí la seva capa superior amb una capa de vernís, posà damunt un segon plat metàl·lic *B* vernissat pels dos costats que tenia un agafador aïllant horitzontal. Quan una font elèctrica lliurava electricitat positiva a *A*, la cara inferior de *B* era elèctricament negativa, la superior positiva (que era derivada amb el dit). Es treia *B*, es col·locava damunt seu un tercer plat *C* vernissat en la cara inferior, i llavors aquesta cara inferior de *C* es feia positiva, la superior negativa (que era derivada també). Essent *C* positiu, es posava en contacte amb *A*, que també era positiu. Es podia anar repetint l'experiment: s'anava reforçant així l'electricitat positiva.

Cavallo (el primer a usar el nom «col·lector» per al disc corresponent), que féu l'experiència, pensà que l'electricitat s'engendrava més aviat per la fricció de les capes de vernís. Llavors el que féu fou posar alhora els tres plats verticals i paral·lels, que descansaven en peus de vidre separats. Restaven molt propers entre si, però sense tocar-se, amb una capa d'aire d'una desena part de polzada, i llavors es repetia l'experiment d'acord amb l'esquema de Bennet, però desplaçant-los d'un cantó a l'altre.

El primer a no usar vernís ni cap altre aïllant fou Lichtenberg i ho féu públic l'any 1794.

8. COP D'ULL A D'ALTRES EFECTES DE L'ELECTRICITAT ESTUDIATS EN AQUESTS ANYS.

Van Marum i l'electricitat en ambients enrarits. Experiència de Kinnersley dels efectes de les descàrregues. Els efectes químics: vapors que surten de metalls (Priestley, van Marum). Se separa l'hidrogen i l'oxigen de l'aigua (van Troostwyck i Deimann). Efectes en les plantes, en els animals, en l'home. Més observacions: dels colors de l'espurna, del seu paper en la combinació de gasos, etc.

Juntament amb el millorament dels aparells d'emmagatzemar l'electricitat s'anà perfeccionant les màquines generadores d'electricitat en tot aquest temps. Però destaquí's ara també algunes aportacions rellevants. Per exemple, que, al ja esmentat van Marum, se li deuen molts d'altres afers. A destacar que estudià el comportament de l'electricitat en ambients enrarits, i trobà que la seva existència era independent de la presència de l'aire, un resultat important si es té en compte que encara hi havia veus que emparentaven l'electricitat amb el flogist (per tant amb l'aire).

L'anglès Ebenezer Kinnersley (1711-1778) estudià el 1761 amb el seu termòmetre d'aire els efectes de les descàrregues: escalfaven (i dilataven) l'aire. Volgué observar també els efectes dilatadors en un tros de paper, en els fils de lli, de llana, en un bri d'herba, en un fil de plata, etc., malgrat que d'altres, pocs anys després, contraposaren el fet que més aviat el filferro s'escurça amb la descàrrega [i molt posteriorment es dirà que no es que l'escurci: és que es retorça].

Certament es provà els efectes destructius de les descàrregues en molts cossos no conductors: fustes, llibres, cartolines, etc. S'observà com s'escampaven les pólvores després d'aplicar-ne una, de descàrrega. Es constatà el fet que els metalls s'hi escalfen, i s'hi estudià profusament que es podien fondre (i fer-los posar roents).

De la màxima importància és l'inici, en aquest mateix temps, de l'estudi dels efectes químics de l'electricitat, sobretot gràcies a Priestley i a van Marum. Aquest darrer, per exemple, estudià els vapors que es presentaven en fondre-hi, amb descàrregues, fils de

ferro o d'estany, quelcom que l'apropa a la teoria de la calcinació de Lavoisier (en la memòria llegida a l'Acadèmia el 25 d'abril de 1775).

Els fluids no conductors resten tal qual quan reben una descàrrega, malgrat el sacseig, la llum que s'hi veu o el soroll. No passa el mateix amb els fluids conductors, als quals Priestley també dedicà la seva atenció. Els holandesos Paetz van Troostwyck i Deimann, amb l'ajut de Cuthbertson [cf.I,4], aconseguiren el 1789 descompondre l'aigua en oxigen i hidrogen (sense separació de gasos) després de repetides descàrregues des d'una ampolla de Leyden a través d'aigua destil·lada.

S'estudia els efectes de l'electricitat en plantes, animals, i també en l'home. En aquet darrer es provà el seu ús terapèutic en paràl·lisis durant la segon meitat del XVIII.

En conjunt s'apilen les experiències i les observacions de tot tipus: per exemple, s'associa el feix de llum de la descàrrega a través d'un cos punxegut amb el foc de Sant Elm (Watson deu haver estat el primer). S'anota que el color de l'espurna depèn dels metalls per on salta. El primer que provà que l'espectre de l'espurna elèctrica (malgrat no admetre-la com a llum) era el mateix que el de la llum solar fou Priestley (observà tots els colors de l'espectre).

Finalment en aquest anys també es comença a veure els efectes de les espurnes en els gasos. Per exemple, la reacció de l'oxigen de l'aire amb el nitrogen per a fer compostos (esclartit pel químic britànic Henry Cavendish, 1731-1810) i, en general, s'observà que s'aconseguia nous compostos a partir de mescles de gasos, o la seva descomposició.

D. UNES NOTES FINALS DE MAGNETISME.

L'aportació de Newton al magnetisme. John Michell i la descripció de l'atracció i repulsió magnètiques. Mayer i Lambert. El fluid o els fluids magnètics. Esperant Coulomb.

El magnetisme certament anà desenvolupant-se en aquests anys. S'ha esmentat dalt la important contribució de Gilbert. Afegeixi's que

Newton diferencià del tot magnetisme i gravetat, i apuntà per observacions que estimà matusseres que la força magnètica devia ser inversament proporcional al cub de la distància.

El primer descobridor²² de la llei de forces entre pols magnètics fou l'anglès John Michell (1724-1793) en un treball del 1750. Hi defensà que cada pol atrau o repel·leix exactament igual a iguals distàncies en la respectiva direcció; és més, l'atracció i la repulsió es palesen amb efectes iguals, és a dir, creixen i decreixen paral·lelament, i segueixen la llei de l'invers del quadrat de la distància, llei que deduí de les seves pròpies observacions i de les d'altres investigadors.

També l'alemany Tobias Mayer (1723-1762) la mantingué, així com el matemàtic alsacià Johann Heinrich Lambert (1728-1777).

A semblança de la concepció del fluid únic es provà de defensar un fluid magnètic únic (per exemple, ho féu Aepinus [cf.II,B,2]): un pol en tindria en excés i l'altre en defecte – d'altres defensaren dues menes de fluid magnètic – el *boreal* i l'*austral*.

Esmenti's així mateix l'autor que s'ocupà del magnetisme i de l'electricitat, Charles Augustin Coulomb (1736-1806) que, gràcies a la balança de torsió (inventada independentment de l'anglès John Michell [1724-1793], que també la concebé), ratificà diferents aportacions dels estudiosos, com es veurà en un altre lloc.

²² Nicolau de Cusa (1401-1464) apuntà certament el 1450 la llei d'atracció del quadrat invers, mesurant-ho amb pesos en una balança.

28. *El lògos de la ciència. Indicacions preliminars des de l'Almagest*, juliol 2015 [2^o edició].
29. *El llibre El Callat de Joan Vinyoli i el referent ontològic*, abril 2010.
30. *Un exercici crític a propòsit de l'inconscient freudià*, setembre 2010.
31. *La unitat i el nombre. Una introducció a l'aritmètica*, abril 2011.
32. *La història, la bona nova i la conversió. Una recerca de filosofia*, juny 2011.
33. *Una realitat anticipada, la festa, la promoció d'un sí. Una recerca de filosofia*, agost 2011.
34. *Notes de lectura de filosofia de la ciència (Popper, Lakatos, Feyerabend)*, febrer 2012.
35. *Estudis sobre la comunicació. Llenguatge, acció comunicativa i nous mitjans*, agost 2012.
36. *Introducció a la geometria euclidiana. Apunts per a una filosofia de l'espai*, gener 2013.
37. *L'estudi de l'hermenèutica. La possibilitat d'experiència des dels escrits de filosofia*, setembre 2013.
38. *Temps i moviment. Una introducció a la cinemàtica*, gener 2014.
39. *La qüestió nacional. Annexos*, maig 2014.
40. *Tres exemples d'estàtica. Aproximacions de filosofia de la ciència*, gener 2015.
41. *Una aproximació a la força. Estudis de filosofia de la ciència*, maig 2015.
42. *Comentaris de l'experiència sagrada en el Bagavad-Gītā*, octubre 2015.
43. *Observant el cel amb l'esfera armil·lar. Apunts per a una filosofia de la ciència*, gener 2016.
44. *A l'entorn de la passa heliocèntrica de Copèrnic. Escrits per a una filosofia de la ciència*, abril 2016.
45. *La raó de temps entre moviments pendulars i lliures en l'Horologium oscillatorium de Christiaan Huygens*, setembre 2016.
46. *L'obra pictòrica com a representació. Des d'allò que s'hi expressa a l'expressió de l'artista*, desembre de 2016.
47. *Drets i deures. En els cercles de l'ethos*, maig 2017.
48. *Ebossos sobre electricitat. Escrits de filosofia de la ciència, (Part primera)*, octubre 2017.
49. *Ebossos sobre electricitat. Escrits de filosofia de la ciència, (Part segona)*, octubre 2017.

