

Las cometas y el estudio de la electricidad atmosférica.

Introducción

El objetivo de este apartado será estudiar el proceso de aculturación que sufrió la cometa cuando fue utilizada por los electricistas de la segunda mitad del siglo XVIII, en las experiencias encaminadas a demostrar la naturaleza eléctrica de los rayos producidos durante las tormentas.

Para estudiar este proceso de apropiación, será necesario realizar un estudio sobre las distintas teorías sobre la electricidad que se barajaban durante esta época. Para el análisis de estas teorías emplearé bibliografía secundaria sobre todo las obras de J. L. Heilbron¹ Esta aproximación me permitirá encontrar el momento y el contexto en el que se usó la cometa, la cual se encontraba muy extendida como juego popular en la Europa del XVIII.²

Heilbron³ establece tres periodos en el estudio de la historia de la electricidad:

This history had three stages. The first, which lasted until 1700, was one of narrow exploration and premature systematization, dominated by professional pedagogues and polymaths sympathetic to the natural philosophy of Aristotle. The second stage, which occupied the first half of the eighteenth century, brought wider exploration and the discovery of phenomena difficult to account for on the old philosophies. Here a new type, the unmathematical 'experimental philosopher,' who followed Descartes or Newton as best he could and who earned some or all of his livelihood from his science, contributed most conspicuously. The third stage occurred during the last part of the eighteenth century when electricity was quantified, at least as regards the classic problems of electrostatics. The quantifying physicist accomplished his purpose by dropping scruples that had weighed with his predecessors and by adopting an instrumentalism that would have scandalized most of them.

Las experiencias sobre la naturaleza eléctrica del rayo podemos enmarcarlas en aquel periodo donde Heilbron establece que los experimentos tienen un carácter cualitativo, más que cuantitativo, en donde lo importante es mostrar y “sentir” los fenómenos más que medirlos. Estas experiencias, de por sí espectaculares, calaron hondo en la comunidad científica de la época⁴ unido a que el objeto de estudio: el rayo siempre ha estado rodeado de un componente mítica⁵, que era necesario desvelar. Estos experimentos trajeron como consecuencia el invento

¹ HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th and 18th Centuries*. Mineola (N.Y.) Dover Publications Inc. y HEILBRON, J. L. (1993). Weighing Imponderables and Other Quantitive Science Around 1800. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciencies*, suplemento vol. 24, Part 1.

² Como muestra de esta popularidad, a modo de ejemplo, podemos leer en una obra escrita en 1939 por R. Byne-Powell, que trata sobre los juegos de los niños en la Inglaterra del siglo XVIII: “*Kite Flying, thought it never became the sport that it is in China and Japan, was very popular in the eighteenth century, indeed we find in many pictures of fields and open spaces, the figure of a boy flying a kite.*” Citado en: HART, C. (1982), *Kites: An Historical Survey* Mount Vernon (N.Y.), Paul P. Appel Publisher, p 94.

³ HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. p, 1.

⁴ El estudio de las comunicaciones a las sociedades científicas así lo pondrá de manifiesto.

⁵ A modo de ejemplo sobre el simbolismo del rayo, ver: CIRLOT, JUAN-EDUARDO (1982) *Diccionario de símbolos*. Barcelona, Editorial Labor . p. 382.

del pararrayos, lo cual es un motivo más de interés estudiar el papel que jugó la cometa dentro de este contexto.

La aculturación científica de la cometa estará presente en las comunicaciones y las obras sobre electricidad de la segunda mitad del dieciocho: como puedes ser los trabajos de Benjamín Franklin, Joseph Priestley y sobre todo de Tiberius Cavallo, así como en las obras de los electricistas franceses. Las descripciones de las “*cometas eléctricas*”, como fueron denominadas, pondrá en manifiesto que la cometa será un instrumento auxiliar para el estudio de la electricidad como la botella Leyden, las máquinas electrostáticas o los electros copios.

Las cometas y los sistemas experimentales empleados, nos acercarán a las aplicaciones prácticas y los contextos de usos en donde la *electric kite* o *cerf-volant électrique* se utilizaron.

La vida de la *electric kite* fue muy corta, este instrumento para el análisis de la electricidad atmosférica se convirtió a finales del XVIII y por tanto durante todo el siglo XIX en una mera anécdota, tan solo en algunas publicaciones de la época, describirán experimentos sobre la electricidad atmosférica, donde se emplean cometas como una mera curiosidad.

El fin de la cometa como instrumento eléctrico puede deberse a lo que Hailbron⁶ describe como la aparición de los *quantifiable concepts* es decir como a finales del XVIII se produjo una cuantificación de las teorías eléctricas. Como consecuencia de la aparición de los primeros aparatos de medida eléctricos, como los *Electroscopios*⁷, los cuales junto con el pararrayos resultaron de mayor utilidad para la medición de los potenciales eléctricos atmosféricos.

El fluido y el fuego eléctrico. La naturaleza del rayo.

El fluido Eléctrico

En el siglo XVIII la física o mejor dicho la filosofía natural como se conocía en la época, estudiaba dos clases de “materia” una ordinaria o ponderable conviviendo junto con una serie de “fluidos imponderables”. Sobre la materia ordinaria actuaban las fuerzas de gravedad, cohesión, afinidades químicas, capilaridad, etc., interaccionando con una serie de fluidos imponderables (las partículas de luz, el calor, el magnetismo y los fluidos eléctricos), los cuales emanados o producidos por ciertas actuaciones sobre la materia ordinaria eran los responsables de una serie de fenómenos cuyo estudio daría origen a las disciplinas científicas, como el electromagnetismo, la química y la termodinámica, etc. que florecería a lo largo del siglo XIX. Esta situación es lo que Heilbron denomina en una de sus obras⁸ el “modelo estándar”.

⁶ HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. pp. 449-489.

⁷ Electroscopio: Instrumento empleado para averiguar si un cuerpo está cargado de electricidad y conocer su signo. Fue uno de los primeros aparatos empleados en el estudio de los fenómenos eléctricos, el más conocido es el denominado *electroscopio de dos hojas*, inventado por Abraham Bennet en 1786, que consiste en un recipiente metálico llamado jaula, unido a tierra por un conductor, en el que penetra una varilla metálica terminada en dos finas láminas de oro o de aluminio y cuyo extremo superior termina en una bola. Al aproximar un cuerpo cargado a la bola, las láminas divergen. Los resultados obtenidos están en función del aumento o disminución de la separación de las láminas.

⁸ HEILBRON, J. L. (1993). *Weighing Imponderables...* Op. Cit. pp. 5 – 33.

El desarrollo de instrumentos científicos que permitieron “medir” dichos imponderables hizo posible que se generaran teorías y por tanto conceptos cuantitativos relativos a estos “fluidos”, ya que hasta entonces las teorías sobre los mismos habían tenido un carácter cualitativo⁹.

Uno de los imponderables que alcanzó un importante desarrollo durante la segunda mitad del siglo XVII, es el caso de la electricidad, considerada como una emanación, una serie de fluidos o una “atmósfera” que rodea a ciertas sustancias: los cuerpos eléctricos y que aparecía al ser frotados.

Considerar a la electricidad un fluido o sustancia imponderable fue consecuencia de las investigaciones sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos llevados a cabo durante el siglo XVII.¹⁰ Si bien hasta entonces lo único que se sabía de los fenómenos eléctricos era la propiedad que tenían ciertos objetos, sobre todo el ámbar, que al ser frotado atraía a los cuerpos ligeros y otras sustancias como la magnetita que atraía a los materiales férricos. A menudo los conceptos de electricidad y magnetismo se confundían, atribuyéndoles el mismo origen.

En la obra *De Magnete* escrita en 1600 por el médico inglés William Gilbert, existe una clara distinción entre lo que son los fenómenos magnéticos y los eléctricos¹¹. En la misma, distingue los fenómenos eléctricos como la propiedad que tienen ciertos cuerpos al ser frotados de emitir efluvios o “humores eléctricos” formando una especie de atmósfera que rodea al cuerpo electrizado, permitiendo atraer a otros cuerpos livianos.

La observación de que casi todos los cuerpos conocidos que podían electrificarse eran duros y transparentes, lleva inmediatamente a la idea de que estos debían estar formados por la consolidación de líquidos acuosos. Según la creencia de la época, la transparencia era una propiedad del agua como elemento fundamental. Gilbert concluye que debe existir un humor particular que debe estar relacionado con las propiedades de los cuerpos eléctricos. La fricción debía calentar, excitar y finalmente liberar este humor, el cual saldría del cuerpo eléctrico en forma de un efluvio, el cual formaría una atmósfera. Este efluvio debía ser suficientemente sutil como para no ser detectado por los sentidos. La idea de proponer una atmósfera que rodeara el cuerpo eléctrico era el paso natural a dar para poder explicar la interacción eléctrica. Gilbert creía firmemente que la materia no podía actuar donde no estuviera, de manera que un cuerpo actuaba sobre otro a distancia a través de un agente material de alguna clase, aunque este último no pudiera verse. Después establece la analogía con el caso de los cuerpos en caída libre y piensa que justamente el aire que conforma la atmósfera terrestre es el efluvio que le permite a la Tierra atraer los cuerpos.

El fenómeno magnético, por lo contrario es un fenómeno permanente existente en los imanes y en la Tierra cuya causa es inmaterial.

Por lo tanto, las sustancias eléctricas emitían algún tipo sustancia sutil cuya emisión no causaba ninguna distorsión aparente al cuerpo, ni presentaba pérdida de peso. Isaac Newton lo expresa en la cuestión 22 en su obra *Óptica*:

⁹ HEILBRON, J. L. (1993). *Weighing Imponderables...* Op. Cit. pp. 35-138.

¹⁰ HAMAMDJIAN, G.; LENOBLE, R. (1988). *El Magnetismo y la electricidad en el siglo XVII* En: TATON, R. (Ed.) *Historia general de las ciencias Tomo V*. Barcelona, Orbis, pp. 366-83.

¹¹ GILBERT, W. (1958) *De Magnete (1600). Republication of the P. Fluery Mottelay translation published in 1893* Mineola (N.Y), Dover Publications Inc. pp. 74 – 97

... Que me diga también cómo un cuerpo eléctrico puede por fricción emitir una exhalación tan rara y sutil, aunque tan potente, como para no provocar con esa emisión una disminución sensible en el peso del cuerpo eléctrico, extendiéndola por un espacio de más de dos pies de diámetro, siendo con todo capaz de agitar y transportar hacia arriba una hoja de cobre u oro a una distancia superior a un pie del cuerpo eléctrico. ¿Cómo pueden ser tan raros y sutiles los efluvios de un Imán como para pasar a través de una lámina de cristal sin ninguna resistencia o disminución de su fuerza, siendo con todo tan potente como para desviar una aguja magnética situada al otro lado del cristal¹²

En una comunicación publicada¹³ en 1733, el inglés Stephen Gray describía una serie de experiencias en las que demostraba que esta “virtud eléctrica” podía ser transferida de un cuerpo a otro.

Gray empleaba un tubo de vidrio tapado por dos tapones de corcho, para evitar que entrara polvo a su interior. Cuando el tubo era frotado cargándose de electricidad, observó que podía atraer a una pluma, para luego ser repelida, tanto por el lado del vidrio como por el tapón, concluyendo que la “virtud eléctrica” había sido transmitida del vidrio al tapón y a través de este a la pluma:

Before I proceed to the Experiment, it may be necessary to give a Description of the tube: Its Length is three Feet five inches, and near one Inch two Tenths in Diameter: I give the mean Dimensions, the Tube being larger at each End than in the Middle, the Bore about one Inch. To each End I fitted a Cork, to keep the Dust out when the Tube was not in use.

The first Experiment I made, was to see if I could find any Difference in its Attraction, when the Tube was stopped at both Ends by the Corks, or when left open, but could perceive no sensible Difference; but upon holding a Down-Feather over against the upper End of the Tube, I found that it would go to the Cork, being attracted and repelled by it¹⁴, as by the Tube when it had been excited by rubbing. I then held the Feather over against the flat End of the Cork, which attracted and repelled many times together; at which I was much surprised, and concluded that there was certainly an attractive Vertue communicated to the Cork by the excited Tube.¹⁵

Siguiendo sus investigaciones, intenta “conducir el fluido eléctrico” a través de un alambre asilado por medio de hilos de seda, colocado tanto en vertical como en horizontal, en cuyo extremo había una bola de marfil, comprobando la transmisión de la “virtud eléctrica” hasta la misma.

¹² NEWTON, I. (1977). *Óptica o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones y Colores de la Luz (1730). Introducción, Traducción, Notas e Índice Analítico de Carlos Solís*. Madrid, Ediciones Alfaguara, p. 306.

¹³ GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D. ... containing several Experiments concerning Electricity. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* XXXVII, pp. 18-44.

¹⁴ Hoy en día diríamos que el tubo y el tapón cargado positivamente atraían la pluma por inducción, la cual al tocar por conducción adquiría igual carga siendo repelida.

¹⁵ GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D... Op. Cit. p. 20.

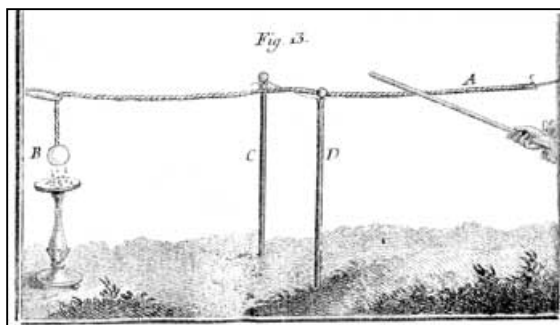


Fig. 1

July 2, 1729, about Ten in the Morning, About four Feet from the End of the Gallery¹⁶ there was a cross Line that was fixed by its Ends to each Side of the Gallery by two Nails; the middle part of the Line was Silk, the rest at each End Packthread; then the line to which the Ivory Ball was hung, and by which the Electric Vertue was to be conveyed to from the Tube, being eighty Feet and a half in Length, was laid on the cross Silk Line, so as that the Ball hung about nine Feet below it: Then the other End of the Line was by a Loop suspended on the Glass Cane and the Leaf-Brass help under the Ball on a Piece of white Paper; when the Tube being rubbed, the Ball attracted the Leaf-Brass, and kept it suspended on it for same Time.¹⁷

Pero sin duda el más famoso experimento de Gray es aquel en el que colocó a un muchacho suspendido horizontalmente por medio de unos hilos de seda. Entonces colocó el tubo de vidrio cerca de los pies, observando que conforme el tubo era cargado frotándolo con un trapo, podía atraer objetos con las manos y la nariz.

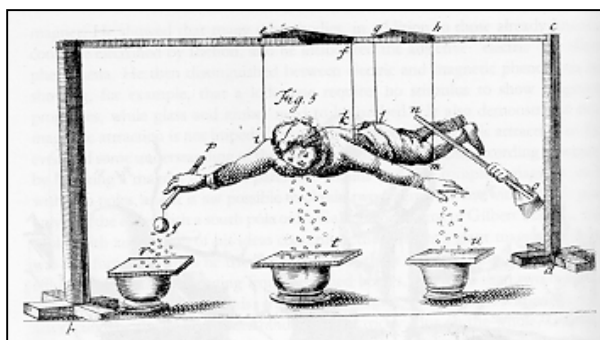


Fig. 2

April 8, 1730, I made the following Experiment on a Boy between eight and nine Years of Age. His Weight, with his Cloaths on, was forty-seven Pounds ten Ounces. I suspended him in a horizontal Position, bay two Hair-Lines, such as Cloaths are dried on: They were about thirteen Feet long, with Loops at each End. There was drove into the Beam of may Chamber, which was a Foot thick, a Pair of Hooks opposite to each other, and two Feet from these another Pair in the same manner. Upon these Hooks the Lines were hung by their Loops, so as to be in the Manner of two Swings, the lower Parts hanging within about two feet of the Floor of the Room: Then the boy was laid on these Lines with his Face downwards, one of the Lines being put under his Breast

¹⁶ Este experimento, junto con otros, fue realizado por Gray en caso de su amigo Granvil Wheler en Otterden-Place, por lo tanto se refiere a una de las habitaciones de dicha casa. (GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D... Op. Cit. p. 23)

¹⁷ GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D... Op. Cit. pp. 26-7

the other under his Thighs: Then the Leaf-Brass was laid on Stand, which was round Board of a Foot Diameter, with white pasted on it, supported on a Pedestal of a Foot in Hight, which I often made use of in other Experiment, thought no till now mentioned: Upon the Tube's being rubber, and held near his Feet, without touching them, the Leaf-Brass was attracted by the Boy's Face with much Vigour, so as to rise to Hight of eight and sometimes ten inches. I put a great many Pieces on the Board together, and the hind Part of his Head, which had short Hair on, attracted, but not at quite so great a Hight as his Face did. Then the Leaf-Brass was placed under his Feet, his Shoes and Stockings being on, and the Tube held near his Head, his Feet attracted, but not altogether at so great a Hight as his Head: Then the Leaf-Brass was again laid under his Head, and the Tube held over it but there was then no Attraction, nor was there any when the Leaf-Brass was laid under his feet, and the Tube held over them.¹⁸

El francés Charles Francois de Cisternay Dufay, en una comunicación en 1733 a la *Royal Society*¹⁹ daba explicación muchos de los fenómenos asociados con electricidad. Sobre la base de sus experiencias concluía que:

- 1) Todos los cuerpos pueden ser cargados de electricidad por frotamiento o mediante el calor, excepto los metales y los cuerpos blandos o líquidos.
- 2) Todos los cuerpos, incluidos los metales y líquidos pueden ser cargados por influencia (Inducción). Este hecho había sido constatado por Stephen Gray:

A Body of Water receives an Attractive Vertue, and also a Repelling one, by applying the excited Tube near it, after the same manner as solid Bodies do.²⁰

- 3) Las propiedades eléctricas de un objeto coloreado, dependen únicamente del tinte no por el color en sí.
- 4) El vidrio como la seda es aislante
- 5) Un hilo conduce mejor estando mojado que seco.
- 6) La conclusión más interesante es la que dice que hay dos tipos de fluidos eléctricos o electricidades una la llama vítrea (*vitreous electricity*) ya que se libera frotando vidrio y la resinosa (*resinous electricity*) que se libera frotando ebonita. Aparte de esto establece que las electricidades del mismo tipo se repelen y las electricidades de diferente tipo se atraen:

Chance has thrown in my Way another Principle, more universal and remarkable than the preceding one, and which casts a new Light on the Subject of Electricity. This Principle is, that there are two distinct Electricities, very different from one another, one of which I call *vitreous Electricity* and the other *resinous Electricity*. The first is that of Glass, Rock-Crystal, Precious

¹⁸ GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D... Op. Cit. pp. 39-40.

¹⁹ DUFAY, C. F. de CISTERNAI (1735.). A Letter from Mons.Du Fay ... A Discourse Concerning Electricity. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London XXXVIII*, pp. 263-64.

²⁰ GRAY, S. (1733). A Letter concerning the Electricity of Water from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London XXXVII*, pp. 227-30.

Stones, Hair of Animals, Wool and many other Bodies: The second is that of Amber, Copal, Gum-Lack, Silk, Thread, Paper, and vast Number of other Substances. The Characteristick of these two Electricities is, that a Body of the *vitreous Electricity*, for Example, repels all such as are of the same Electricity; and, on the contrary, attracts all those of the *resinous Electricity*; so that the Tube, made electrical, will repel Glass, Crystal, Hair of Animals, etc. when rendered electrick and will attract Silk, Thread, Paper, etc, thought rendered electrical likewise. Amber, on the contrary, will attract electrick Glass, and other Substances of the same Class, and will repel Gum-Lac, Copal, Silk, Thread, etc. Two Silk Ribbons rendered electrical, will repel each other; two Woollen Thread will do the like but a Woollen Thread and a Silk Thread will mutually attract one another. This Principle very naturally explains, why the Ends of Thread, of Silk, or Wool, recede from one another in Form of a Pencil or Broom, when they have acquired an electrick Quality. From this Principle one may with the same Ease deduce the Explanation of a great Number of other *Phenomena*. And it is probable, that this Truth will lead us to the further Discovery of many other things.²¹

Por lo tanto, tras los trabajos de Stephen Gray y Charles Francois de Cisternay Dufay la idea de que los fenómenos eléctricos podían ser explicados por la existencia de un fluido era posible. Éste podía ser transferido de un cuerpo a otro por contacto o por influencia (inducción) y por presentar propiedades distintas, el fluido podía ser de varias clases según la materia donde se producía.

El Fuego Eléctrico

Para la producción de la electricidad Gray utilizó la frotación de un tubo de cristal²² y otras sustancias, pero la electricidad generada por este procedimiento era bastante rudimentaria. La aparición y el perfeccionamiento, a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, de las máquinas electrostáticas por parte de los electricistas alemanes y sobre todo el descubrimiento de la Botella de Leyden, permitió idear nuevos experimentos que generaron nuevas teorías sobre los fluidos eléctricos²³.

Una máquina electrostática no era otra cosa que un cuerpo esférico o cilíndrico de vidrio que podían girar rápidamente. Este cuerpo voluminoso de vidrio se frotaba por debajo por medio de la mano o un cojín de cuero. La electricidad inducida por la fricción era recogida con una cinta de hilos o peines metálicos que rozaba el cuerpo por su parte superior. Esta cinta se unía a una o varias varillas²⁴ aisladas que quedaban cargadas²⁵.

²¹ DUFAY, C. F. de CISTERNAY (1735.). A Letter from Mons.Du Fay ... A Discourse Concerning Electricity. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* XXXVIII, pp. 263-64.

²² GRAY, S. (1733). A Letter to Cromwell Mortiner, M.D... Op. Cit. p. 20.

²³ Ver: HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. pp. 261-75 y 309-23.

²⁴ Denominada en los tratados de la época primer conductor o conductor principal (*prime Conductor*.)

²⁵ En terminología actual diríamos que al ser frotado el vidrio adquiría carga positiva y los cojines de cuero negativa, la cual se neutraliza por medio de una masa a tierra. La carga positiva del vidrio actuaba por influencia sobre el peine y el conductor, atrayendo del mismo cargas negativas, las cuales neutralizan las positivas del vidrio, quedando el conductor cargado positivamente, iniciándose de nuevo el ciclo.

Las primeras máquinas electrostáticas conocidas fueron construidas por Otto von Guericke²⁶ y Francis Hauksbee²⁷. El perfeccionamiento de las mismas permitió generalizar los experimentos eléctricos en los que se manifestaba la “virtud eléctrica” como una chispa o fuego eléctrico, según Gray:

Si se acerca una punta de metal a un objeto electrizado, éste pierde su electricidad poco a poco y sin ruido, mientras que con una varilla gruesa la descarga se produce bruscamente y con chispas... Quizá se invente un día un procedimiento para recoger mayores cantidades de este fuego eléctrico, que según varios de estos experimentos parece ser de la misma naturaleza que el rayo y el trueno.²⁸

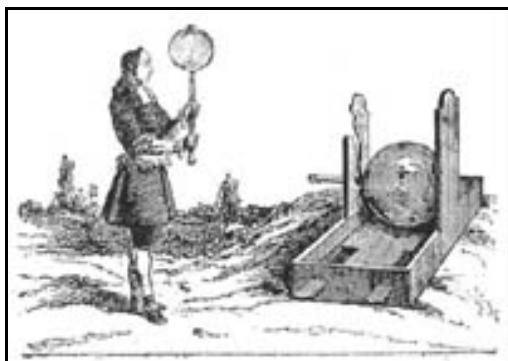


Fig. 3 Máquina de Otto von Guericke

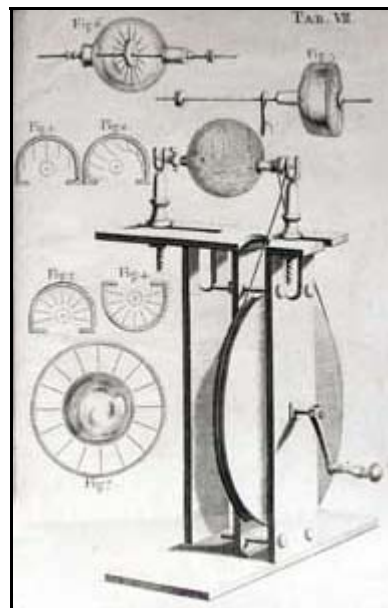


Fig. 4 Máquina de Francis Hauksbee >

Pero sin lugar a dudas el instrumento que llegó a ser básico para el estudio de la electricidad fue: La botella Leyden. Ésta era un primitivo condensador eléctrico, resultado de los experimentos llevados a cabo por el holandés Pedro Van Musschenbroeck en 1745 en la ciudad de Leyden. Ante la necesidad de explicar la naturaleza del fluido²⁹ eléctrico experimentó con una botella (redoma) llena de agua y cerrada con un tapón atravesado por una varilla metálica que había sido enganchada al conductor de una máquina electrostática. Cuando un ayudante la descolgó, recibió una fuerte descarga, demostrándose que había acumulado electricidad.

²⁶ Máquina descrita en la obra *Experimenta Nova* escrita en 1672 por Otto de Guericke, que consistía en un globo de azufre... “del volumen de una cabeza de un niño, que se frota con la mano y que puede también fijarse a un eje para hacerla girar. Coloca debajo recortes láminas de todas las clases de oro, plata, papel y otros restos; después tocando el globo con una mano bien seca, se le frota durante dos, tres vueltas o más”

²⁷ Descrita en la obra *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects. Containing an Account of Several Surprising Phenomena Touching Light and Electricity* publicada en 1709 por Francis Hauksbee

²⁸ Citado en BAUER, E.; HAUKSBE, F. (1988). La electricidad y el magnetismo en el siglo XVIII. En: TATON, R. (Ed.) *Historia general de las ciencias Tomo VI*. Barcelona, Orbis, pp. 588.

²⁹ Se quería demostrar si la virtud eléctrica se evaporaba como fluido que era, ya que los cuerpos cargados perdían gradualmente su electricidad.



Fig. 5 Primer grabado de una botella de Leyden (1746)

Ayudado por estos nuevos instrumentos Benjamín Franklin, empezó a comunicar en 1747 sus experimentos a través de cartas que enviaba a su amigo Peter Collinson que fueron leídas en diferentes sesiones de la *Royal Society* de Londres. Estas comunicaciones fueron editadas en forma de libro en 1751 con el título de *Experiments and Observations on Electricity*, alcanzó varias ediciones y fue traducido a varios idiomas.

Franklin concluyó a través de sus estudios, que la electricidad era un fluido “imponderable” existente en toda la “materia ordinaria”, que denominó “fuego eléctrico” y calificó a las sustancias de eléctricamente positivas y negativas, de acuerdo con el exceso y defecto de este fluido³⁰.

En palabras de Franklin:

Sean dos personas, una de pie sobre cera a la que hemos frotado con el tubo y, otra, también de pie sobre cera, que puede atraer el fuego eléctrico (siempre que no se toquen entre sí), parecen estar electrizadas si son observadas por una tercera persona situada en el suelo. Esta persona recibiría una chispa si se aproxima a cualquiera de ellas.

Pero si las personas situadas de pie sobre la cera, se tocan mientras se excita el tubo, ninguna aparecerá electrizada.

Si se tocan entre sí después de excitar el tubo y producir el fuego, tal como he mencionado aparecerá una chispa más fuerte entre ellas que la que tendría lugar entre cualquiera de ellas y la persona que se encuentra en el suelo.

Después de esta fuerte chispa, ninguna de ellas notará que está electrizada.

Voy a intentar explicar este experimento. Supongo, como ya he mencionado, que el fuego eléctrico es un elemento común que cada una de las tres personas anteriores lo tienen en la misma proporción antes de empezar a manipular el tubo. La persona A que está de pie sobre cera, frota el tubo eléctrico, acumula el fuego eléctrico de ella misma y lo lleva al tubo. Como su comunicación con la masa se encuentra interrumpida a causa de la cera, su cuerpo vuelve a cargarse. La persona B que así mismo está sobre cera, al pasar sus nudillos cerca y a lo largo del tubo, recibe el fuego suministrado allí por A, y al estar su comunicación con tierra cortada por la cera retiene una cantidad mayor que recibe. A la persona C, que está de pie sobre el suelo, le parece que las dos anteriores están electrizadas, por tener ella, solamente, la mitad de la cantidad de fuego eléctrico, una chispa al aproximarse a la persona B que tiene una sobrecarga, pero da otra cantidad a A que tiene menos carga. Si A y B se ponen en contacto, la chispa es mayor, porque la diferencia de carga eléctrica entre ellos, es más grande. Después de este contacto no se produce ninguna chispa entre ellas y la persona C porque se ha igualado el fuego eléctrico en todos. Si se tocan mientras se están

³⁰ Ver: HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. pp. 324-39.

electrizando, la igualdad nunca se destruye y el fuego eléctrico solamente circula. De esto han surgido algunas nuevas proposiciones.

Sabemos que B (y otros cuerpos en semejantes circunstancias) se electrizan *positivamente*, A, *negativamente*, o mejor, B es electrizado *más* y A *menos*. En mis experimentos diarios electrizamos los cuerpos *más* o *menos* según desee. *Estos términos*, podemos usarlos hasta que sus filósofos nos proporcionen otros mejores. Para electrizar *más* o *menos* sólo es necesario tener presente esto: que las partes del tubo o esfera que se frotan, en el instante de la fricción, atraen el fuego eléctrico y que, por lo tanto, la toman del cuerpo que lo excita; que las mismas partes inmediatamente que cesa la fricción están dispuestas a ceder el fuego que han recibido a cualquier cuerpo que tenga menos. Así, el fuego puede circular como Mr. Watson³¹ ha mostrado también. Además se puede acumular o sustraer de cualquier cuerpo con solo ponerlo en contacto con el excitador o con el receptor y cortando la comunicación con la tierra o masa común.³²

Las conclusiones más importantes que llegó en su trabajo fueron:

1) La materia eléctrica consta de partículas extremadamente sutiles, que pueden penetrar en la materia común, incluso en los metales más densos, con tal facilidad y libertad, que no sufre resistencia alguna perceptible.

[...]

3) La materia eléctrica difiere de la materia ordinaria en que las partes de ésta se atraen mutuamente, mientras que las de la primera se repelen. De ahí la aparente divergencia en una corriente de efluvio eléctrico.

4) Aunque las partículas de materia eléctrica se repelen entre sí, pueden ser atraídas intensamente por cualquier otra materia.

[...]

6) Por tanto, La materia ordinaria es una especie de esponja para el fluido eléctrico o materia eléctrica. Una esponja no podrá absorber nada de agua, si las partículas de agua no fueran más pequeñas que los poros de la esponja, y esta absorción sería muy lenta si no existiese una atracción recíproca entre sus partículas y las de la esponja e, incluso, podía ser embebido con mayor rapidez si la mutua atracción entre las partículas del agua no lo impidiese. Aún lo haría más deprisa si en lugar de esta atracción hubiera una repulsión entre las partículas de agua, que podría actuar en conjunción con la atracción de las mismas por la esponja. Así ocurre entre la materia eléctrica y la materia ordinaria.

7) Pero la materia ordinaria puede existir (generalmente), tanta materia eléctrica como puede contener. Si se le añade más, situará sobre su parte exterior, sobre la superficie,

³¹ Se refiere a la obra de W. Watson: *A Sequel to the Experiments and observations Tending illustrate the Nature and Properties of Electricity* publicada en 1746

³² FRANKLIN, B. (1988) *Experimentos y observaciones sobre Electricidad (1774)*. Madrid, Alianza. Introducción, traducción y notas de Joaquín Summers Gámez, pp. 58-60.

constituyendo lo que llamamos una atmósfera eléctrica. El cuerpo está entonces electrizado.

[...]

9) Concluimos que el fluido esta *en* la materia ordinaria porque podemos extraerlo de ella por medio del globo³³ o del tubo [...]

[...]

15) La forma de la atmósfera es la del cuerpo a! que rodea. Esta forma puede hacerse visible cuando el aire esta en reposo, produciendo humo con resina seca, [...] Toma esta forma, al ser atraído por todas las partes de la superficie del cuerpo, si bien no puede entrar por estar repleta de sustancia. Si bien esta atracción no permanecería alrededor del cuerpo, sería disipado en el aire.³⁴

La naturaleza del rayo

Hasta el momento los fenómenos eléctricos, al contrario de los magnéticos, eran producidos por el hombre interactuando sobre la naturaleza, frotando tubos de vidrio o otros materiales como habían hecho Gray y Dufay o por medio de las máquinas electrostáticas. Había un interés por demostrar que los fluidos eléctricos objeto de estudio estaban presentes en la naturaleza: en forma de electricidad atmosférica, en los rayos de las tormentas o en los animales³⁵.

Los rayos presentaban una serie de similitudes con el “fuego eléctrico”:³⁶

Electrical fluid agrees with lightning in these particulars:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Giving light | |
| 2. Colour of the light | [son inflammabilité] |
| 3. Crooked direction | |
| 4. Swift motion | |
| 5. Being conducted by rentals | [promptitude de son action] |
| 6. Crack or noise in exploding | |
| 7. Subsisting in water or ice | |
| 8. Rending bodies it passes through | |
| 9. Destroying animals | [la propriété... de frapper les corps |
| 10. Melting metals | extérieurement et intérieurement, |
| 11. Firing inflammable substances | jusque dans leurs moindres parties.] |
| 12. Sulphurous smell. | [son activité à enflammer] |

³³ Se refiere a las máquinas electrostáticas.

³⁴ FRANKLIN, B. (1988) *Experimentos y observaciones...* Op. Cit. pp. 93-98.

³⁵ Ver en el anexo documental la tabla en donde se muestran los diferentes experimentos llevados a cabo en la segunda mitad del siglo XVIII relacionados con la electricidad atmosférica y naturaleza eléctrica de los rayos. (McADIE, A. (1891) Franklin's Kite Experiment. *The American Meteorological Journal*. Julio, p.100)

³⁶ Cuadro comparativo de las similitudes entre la electricidad y los rayos según de Franklin y el electricista francés el abate Nollet, citado en: HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. pp. 339-43.

Por lo tanto había que idear un método que permitiera transportar el rayo a las condiciones del laboratorio y comprobar estas similitudes.

Franklin había descubierto la siguiente propiedad: “el maravilloso efecto de los cuerpos puntiagudos que pueden igualmente comunicar el fuego eléctrico a los demás cuerpos y arrebatárselo”³⁷, conocida como “el poder de las puntas”. Esta propiedad combinada con la idea de que el rayo tenía naturaleza eléctrica le hizo deducir que colocando una serie de varillas puntiagudas en los edificios un rayo podía descargar gradualmente a través de ella y por tanto protegerlo:

Si estos fenómenos³⁸ suceden así, se pueden utilizar estos conocimientos para otros usos, preservando las casas, iglesias, barcos, etc. de las descargas producidas por los relámpagos. Para ello basta situar sobre las partes más altas de los edificios barras de hierro verticales que tengan forma de aguja (dorada en su extremo superior para preservarla del óxido) y colocar desde el pie de estas barras un cable que baje, por fuera del edificio, hasta el suelo o en el caso de un barco, hasta que alcance el agua. Estas barras terminadas en punta, probablemente, no pueden recoger silenciosamente el fuego eléctrico de una nube hasta que se encuentre lo suficientemente cerca como para producir una sacudida.³⁹

A continuación plantea el siguiente experimento:

Para acarar el hecho de que las nubes que contienen relámpagos están electrificadas hemos pensado que el siguiente experimento, lo puede comprobar convenientemente.



Fig. 6

Sobre la parte superior de alguna torre, colocar una caseta semejante a la de un centinela suficientemente grande para que pueda albergar a un hombre y a un soporte eléctrico (Fig. 14) Desde la mitad del soporte se saca, por la puerta, una barra de hierro al exterior, adecuadamente doblada y cuando haya subido veinte o treinta pies, se le hace, en el extremo, una punta muy afilada. Si el soporte eléctrico se conserva limpio y seco, un hombre de pie sobre él, cuando las nubes pasan por encima, puede ser electrificado y se producen chispas, pues la barra conduce el fuego eléctrico desde las nubes. Por si este hombre pudiera tener algún peligro (aunque pienso que no tiene ninguno) situamos su soporte sobre e suelo de una caja y acercamos a la barra, un cable en forma de lazo, uno de cuyos extremos se fija al plomo sujetado por una asa de cera. Así, si la barra está electrificada, las chispas se dirigirán de la barra al cable y no le afectará.⁴⁰

³⁷ FRANKLIN, B. (1988) *Experimentos y observaciones...* Op. Cit. pp. 55-56. Este descubrimiento esta fechado en una carta a Peter Collinson en 1747

³⁸ Se refiere al poder de las puntas

³⁹ FRANKLIN, B. (1988) *Experimentos y observaciones...* Op. Cit. p. 103-4. El enunciado de este experimento esta fechado en 1750 en una carta enviada a Peter Collinson con el título de *Opiniones y Conjeturas referentes a las propiedades y Efectos de la Materia Eléctrica, consecuencia de los Experimentos Y Observaciones hechas en Filadelfia, 1749*, aparecido en las distintas ediciones de los *Experiments and Observations on Electricity*.

⁴⁰ FRANKLIN, B. (1988) *Experimentos y observaciones...* Op. Cit. p. 104.

En 1752, el naturalista francés Dalibard, traductor del libro de Franklin, mostró que el experimento tenía también éxito, con la garita situada al nivel del suelo. El experimento se llevó a cabo satisfactoriamente el 10 de mayo de 1752 en Marly, durante una tormenta y en ausencia de Dalibard, por un antiguo miembro del cuerpo de dragones, Coiffier y el cura del pueblo, Raullet. Los resultados se expusieron en una notificación a la *Académie des Sciences*, de París el 13 de mayo de 1752.⁴¹

Por lo tanto el pararrayos ya era posible, pero sin embargo, Franklin pasaría a la historia popular de la ciencia, por emplear una cometa en un posterior experimento para demostrar la naturaleza eléctrica del rayo.

La cometa y los experimentos de Franklin y Romas

Franklin en una carta enviada a Peter Collinson, leída en la sesión de la *Royal Society de Londres*, de 21 de diciembre de 1752, describía el siguiente experimento en el que usaba una cometa:

Philadelphia, Oct 1, 1752. Read Dec. 21, 1752. As frequent mention is made in the public papers from Europe of the Success of the Philadelphia experiment for drawing the electric fire from clouds by means of pointed rods of Iron erected on high buildings⁴², etc. it may be agreeable to the curious to be informed, that the same Experiment has succeeded in Philadelphia, tho' made in a different and more easy manner, which any one may try, as follows:

Make a small cross of two light strips of cedar, the arms so long as to reach to the four corners of a large thin silk handkerchief when extended; tie the corners of the handkerchief to the extremities of the cross, so you have the body of a kite; which being properly accommodated with a tail, loop and string, will rise in the air, like those made of paper; but this being of silk is fitter to bear the wet and wind of a thunder gust without tearing.⁴³

To the top of the upright stick of the cross is to be fixed a very sharp pointed wire⁴⁴, rising a foot or more above the wood.

To the end of the twine, next to the hand, is to be tied a silk ribbon, and where the twine and the silk join, a key may be fastened.

This kite is to be raised when a thunder gust appears to be coming on, and the person who holds the string must stand within a door, or window, or under some cover, so

⁴¹ COHEN, I. B. (1988) Las Ciencias en la América Colonial. En: TATON, R. (Ed.) *Historia general de las ciencias Tomo VII*. Barcelona, Orbis, pp. 817-18, y HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. pp. 349-51.

⁴² Franklin hace mención a los pararrayos colocados en los edificios en Filadelfia consecuencia de su primer experimento.

⁴³ Si bien no muestra muchos detalles la descripción corresponde a una cometa de forma rómbica.

⁴⁴ Aplica su teoría sobre la capacidad de las puntas afiladas para atraer al “fluido eléctrico”. Es el conocido como “efecto de las puntas”.

that the silk ribbon may not be wet; and care must be taken that the silk ribbon may not touch the frame of the door or window.

As soon as any of the thunder-clouds come over the kite, the pointed wire will draw the electric fire from them, and the kite, with all the twine will be electrified, and the loose filaments of the twine will stand out every way, and be attracted by an approaching finger.

And when the rain has wet the kite and twine, so that it can conduct the electric fire freely, you will find it stream out plentifully from the key on the approach of your knuckle.

At this key the phial⁴⁵ may be charged; and from electric fire thus obtain'd, spirits may be kindled, and all the other electric experiments be performed, which are usually done by the help of a rubbed glass globe or tube; and thereby the *sameness* of the electric matter with that of lightning completely demonstrated.

I was pleased to hear of the success of my experiments in France, and that they there begin to erect points upon their buildings. We had before placed them upon our academy and state-house spires⁴⁶

Este experimento desde que se hizo público generó un gran interés, tal vez por la originalidad y conjunción de los elementos empleados en su ejecución. Su fama se extendió y pronto se rodeó de leyenda. El teólogo y químico inglés Joseph Priestley, en su obra *History and Present State of Electricity* adorna con detalles la ejecución del experimento:

He took the opportunity of the first approaching thunder storm to take a walk into a field, in which there was a shed convenient for his purpose. But dreading the ridicule which too commonly attends unsuccessful attempts in science, he communicated his intended experiment to no body but his son, who assisted him in raising the kite.

The kite being raised, a considerable time elapsed before there was any appearance of its being electrified. One very promising cloud had passed over it without any effect; when, at length, just as he was beginning to despair of his contrivance, he observed some loose threads of the hempen string to stand erect, and to avoid one another, just as if they had been suspended on a common conductor. Struck with this promising appearance, he immediately presented his knuckle to the key, and (let the reader judge of the exquisite pleasure he must have felt at that moment) the discovery was complete. He perceived a very evident electric spark. Others succeeded, even before the string was wet, so as to put the matter past all dispute, and when the rain had wet the string, he collected electric fire very copiously. This happened in June 1752, a month after the electricians in France had verified the same theory, but before he heard

⁴⁵ Se refiere a la Botella de Leyden.

⁴⁶ FRANKLIN, B. (1753) A letter of Benjamin Franklin, Esq; to Mr. Peter Collinson, F.R.S. concerning an electrical Kite. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* LVII, pp. 565-567. También dio la noticia en el *The Pennsylvania Gazette* de 19 de Octubre de 1752, periódico fundado y editado por Franklin. Es curioso remarcar el hecho de que fuera comunicado a través de dos medios periodísticos distintos: uno académico y otro popular.

of any thing they had done.⁴⁷

La popularidad del experimento ha hecho que el ensayo de Marly consecuencia de la primera propuesta experimental de Franklin y verdadero origen del invento del pararrayos, aparezca eclipsado por la cometa eléctrica de Franklin.

Como ejemplo, baste tomar un libro de texto actual, en el que leemos sobre la historia del descubrimiento del pararrayos:

En 1752, benjamín Franklin construyó una cometa de seda con una punta metálica en un extremo que hizo volar en un ambiente tormentoso, con el objeto de demostrar la naturaleza eléctrica del rayo. Gracias a esto, inventó el pararrayos.⁴⁸

Además la autoría del experimento no fue exclusiva de Franklin. Simultáneamente en Francia y en concreto en la ciudad de Nérac, Jacques de Romas, realizaba el mismo experimento⁴⁹, según su libro *Mémoire, sur les moyens de se garantir de la foudre dans les maisons* escrito en 1776, consideraba que la prioridad de los experimentos con las cometas eléctricas moralmente era suya. Aunque Priestley, como hemos visto, reconoce la prioridad de los experimentos en Francia, afirma que Franklin realizó los experimentos simultáneamente. Hay que remarcar también que Franklin en su carta reconoce que los electricistas franceses hay llevado a cabo el experimento de Marly, ya que cita en su carta la colocación de pararrayos en edificios, más que experimentos con cometas. Lo que hay que reconocer sin lugar a dudas, es el gran detalle con que se explican los experimentos en las obras posteriores a la comunicación de Franklin.

Romas, al contrario que Franklin, realizó varias demostraciones públicas con cometas eléctricas, como la del 14 de mayo y el 7 de junio de 1753. Durante una de ellas demostró una de las cualidades de Nollet, la de “destrozar a los animales”:

During a violent storm... I raised my kite. Near the lower end and the string, that is, near the place where it was tied to the silk thread, I placed on the ground a tripod made of three brass wires, each eighteen inches long and as thick as a pen, and meeting in a point at one end. Between the feet of this tripod, and approximately in the middle, I placed a glass vessel eleven inches high and five inches in diameter, and whose mouth was sufficiently wide to allow the introduction of a hand. At the bottom of this vessel I cemented ...one end of a silk cord. At the other end of this I tied a pigeon by the neck, so that it could not escape from the cell which, in accordance with my plan, must remain open. Finally, at the point of the tripod I attached one end of a metal chain, the other end of which I allowed to pass into the interior of the vessel, being careful, however, that the length of the chain was such that it hung an inch over the head of the bird.

⁴⁷ PRIESTLEY, J. (1767). *History and Present State of Electricity*. Londres. pp. 171-2.

⁴⁸ Libro de texto de la asignatura de tecnología de 1º ESO. (Sin referencias).

⁴⁹ En la nota 32 de la obra de HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. p. 351: *De Romas, who independently of Franklin hit on the electric kite, seems to have proposed an experiment much like that of Marly in 1750 or 1751. He fiercely defended his independence against Priestley's insinuation that he merely improved upon Franklin's demonstrations. In fact de Romas drew his inspirations from the Bordeaux prize question of 1749 which, in turn, derived from Nollet's speculations.*

At the sight of these preparations, the people who had gathered to watch my operations, and who were soon frightened by several spontaneous flashes of electricity which they were not expecting, presaged the imminent death of the pigeon.

I directed about twenty flashes of electricity [from the kite] ...on to the point of the tripod, but the pigeon showed only fear at each flash, and remained safe and sound.

...Several feet away from the tripod ...I drove a stake into the ground ... To this I tied a dog with a strong silk cord. Having done that ...I waited until the storm had so abated that the kite line was giving off sparks only three or four inches in length ...As soon as this happened ...I directed a single such spark at the head of the dog; and the animal immediately fell dead to the ground.⁵⁰

En cuanto al tipo de cometa empleado poco se puede deducir de las descripciones de Franklin y de Romas, pero en vista a los modelos existentes en la Europa del dieciocho Clive Hart⁵¹ especula:

For this purpose Franklin used a “common kite” which was apparently very similar to one depicted in Bate’s book⁵²

Respecto a la cometa usada por Romas debió ser una con forma de pera, ya que eran las más populares en Francia en esa época.⁵³

Las experiencias con cometas eléctricas empezaron a aparecer en los tratados de electricidad, en algunos de ellos no fue meramente anecdótico como en la obra de Franklin, sino que fue tratado como un instrumento científico dentro de un sistema experimental para el estudio no solo de los rayos en las tormentas, sino del estado eléctrico de la atmósfera.

Las cometas eléctricas en la obra de Tiberius Cavallo

El electricista inglés de origen italiano Tiberius Cavallo, escribió el libro *A Complete Treatise on Electricity* publicada en su primera edición en 1777 y que llegó a tener tres tomos en su última edición de 1786-95. En este tratado de electricidad, se describe la construcción de una gran variedad de instrumentos para su uso en experimentos eléctricos.

En la parte IV de la segunda edición del libro, de 1782, con el epígrafe *New Experiment in Electricity* trata del estudio de la electricidad en la atmósfera, y describe los instrumentos que se usan para tal fin, siendo el primero la cometa eléctrica:

The first instrument that I made use of to observe the Electricity of the atmosphere, was an electrical kite, which I had constructed, not with a view to observe the Electricity of the air, for this, I thought, was very weak and seldom to be observed; but

⁵⁰ DE ROMAS, J. (1776) *Mémoire, sur les moyens de se garantir de la foudre dans les maisons*, Bordeaux., pp. 87 -9. Texto citado y traducido al inglés en: HART, C. (1982), *Kites: An Historical...* Op. Cit. p.98 – 9.

⁵¹ HART, C. (1982), *Kites: An Historical...* Op. Cit. p.97.

⁵² Ilustración de la obra de John Bate *The Mysteries of Nature and Art* de 1634. Ver anexo documental.

⁵³ HART, C. (1982), *Kites: An Historical...* Op. Cit. p.98. Ver anexo documental.

as an instrument, which could be occasionally used in time of a thunder-storm, in order to observe the Electricity of the clouds. The kite however being just finished, together with its string, which contained a brass wire through its whole length, I raised it the 31st of August 1775, at seven of the clock in the afternoon, the weather being a little cloudy, and the wind just sufficient for the purpose. The extremity of the string being insulated, I applied my fingers to it, which, contrary to my expectation, drew very vivid, and pungent sparks: I charged a coated phial at the string several times; but I did not then observe the quality of the Electricity. This successful experiment induced me to raise the kite very often, and to keep it up, for several hours together, thinking that if any periodical Electricity, or any change of its quality took place in the atmosphere, it might very probably be discovered by this instrument⁵⁴.

Cavallo piensa, en principio que con la cometa solo podría estudiar las descargas eléctricas de las nubes, tal como había descrito Franklin y Romas, pero en su primer experimento se da cuenta que la cometa esta captando la electricidad, lo comprueba por las chispas existentes en la cuerda al acercar los dedos a la misma, y no hay una tormenta. Esto le induce a pensar que puede ser utilizada como instrumento de detección de la electricidad atmosférica.⁵⁵

La construcción de la cometa y los electrómetros empleados para “cuantificar” la electricidad captada son descritos con gran detalle:

The first electrical kite, that I constructed, was seven feet high, and it was made of paper with a stick or straiter, and a cane bow, like the kites commonly used by schoolboys. On the upper part of the straiter I fixed an iron spike, projecting about a foot above the kite, which, I then thought, was absolutely necessary to collect the Electricity, and I covered the paper of the kite with turpentine, in order to defend it from the rain. This kite, perfect as I thought it to be, in its construction, and lit for the experiments, for which it was intended, soon manifested its imperfections, and after being raised a few times, it became quite unfit for farther use; it being so large, and consequently heavy, that it could not be used, except when the wind was strong, and then after much trouble in raising and drawing it in, it often received some damage, which soon obliged me to construct other kites upon a different plan, in order to ascertain which method would answer the best for my purpose. I gradually lessened their size, and varied their form, till I observed upon trial, that a common school-boy's kite, was as good an electrical kite as mine. In consequence of which I constructed my kites in the most simple manner, and in nothing different from the children's kites, except that I covered them with varnish, or with well boiled linseed oil, in order to defend them from the rain, and I covered the back part of the straiter with tin-foil, which however has not me least power to increase its Electricity. I also furnish the upper extremity of the straiter with a slender wire pointed, which, in time of a thunder-storm, may perhaps draw the Electricity from the clouds, somewhat more effectually; but, in general, I find [...] that it does not in the least affect the Electricity at the string. The kites, that I generally have used, are about four feet high, and little above two feet wide. This size, I find, is the most convenient, because it renders them easy to be managed, and at the same time they can draw a sufficient quantity of string. As for silk or linen kites, they require a good deal of wind to be raised, and then they are not so

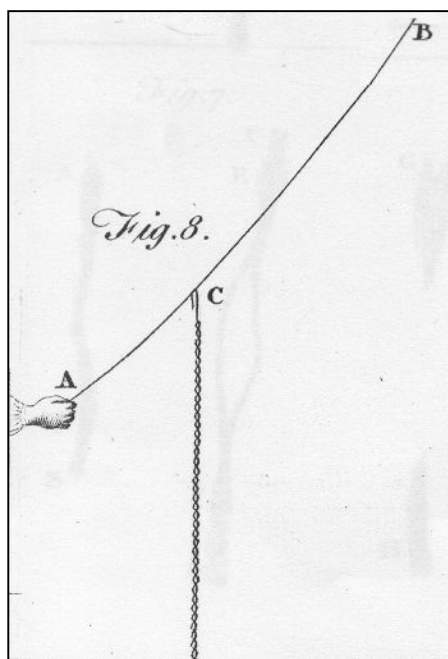
⁵⁴ CAVALLO, T. (1782) *A complete Treatise on Electricity*, Londres. pp. 357-8

⁵⁵ La existencia de cargas eléctricas en la atmósfera en un cielo sin nubes fue descubierta independientemente por el francés Le Monnier y el italiano Tommaso Marini en 1755. HEILBRON, J. L. (1999). *Electricity in the 17th...* Op. Cit. p. 365.

cheap nor so easy to be made, as paper kites are. The string sometimes breaks, and the kite is lost, or broken, for which reason, these kites should be made as cheap and as simple as possible⁵⁶.

The string is the most material part of this apparatus; for the Electricity produced is more or less, according as the string is a better, or a worse Conductor. The string, which I made for my large kite, consisted of two threads of common twine twisted together with a brass wire between the strands. This string served very well for two, or three trials, but on examination, I soon found that the wire in it was broken in many places, and it was continually snapping; me metallic continuation therefore being so soon interrupted, the string became soon so bad, that it acted nothing better than common twine without a wire. I attempted to mend it, by joining the broken pieces of wire, and working into the twine, another wire, which proved a very laborious work; but me remedy had very little effect, me wire breaking again after the first trial, which determined me to adopt other methods; and after several experiments, I found that the best string was one, which I made by twisting a copper thread with two very thin threads of twine.⁵⁷

[...]



In raising me kite when the weather is very cloudy and rainy, in which time there is fear of meeting with great quantity of Electricity, I generally use to hang upon the string AB, fig. 8. Plate II. the hook of a chain C, the other extremity of which falls upon me ground. Sometimes I use another caution besides, which is to stand upon an insulating stool; in which situation, I think, mat if any great quantity of Electricity, suddenly discharged by the clouds, strikes the kite, it cannot much affect my person As to insulated reels, and such like instruments, that some gentlemen have used for to raise the kite, without danger of receiving any shock; fit for the purpose as they mar appear to be in theory, they are yet very inconvenient to be managed. Except me kite be raised in time of a thunderstorm, there is no great danger for the Operator to receive any shock.

Although I have raised my electrical kite hundreds

of times without any caution whatever, I have very seldom received a few exceedingly slight shocks in my arms. In time thunderstorm, if the kite has not been raised before, I would not advise a person to raise it while the stormy clouds are just overhead; the danger in such time being very great, even with the precautions⁵⁸ above mentioned at that time, without raising the kite, the Electricity of the clouds may be observed by a

⁵⁶ Como posteriormente deducirá Cavallo de sus experimentos, la cometa capta la electricidad del aire a través del hilo no de la propia cometa, por lo tanto colocarle puntas o revestimientos de metal no se consigue que la cometa capte más electricidad, sino que la hace más pesada y difícil de volar. Así que una simple cometa de escolar era el mejor instrumento para sus propósitos.

⁵⁷ Prueba diferentes maneras de construir la cuerda de la cometa fuera lo más “conductora” posible, ya que era lo que captaba la electricidad.

⁵⁸ Establece las medidas de seguridad para aislar la cuerda de la cometa.

cork-ball electrometer⁵⁹ held in the hand in the open place, or if it rains, by my electrometer for the rain; which will be described hereafter.⁶⁰

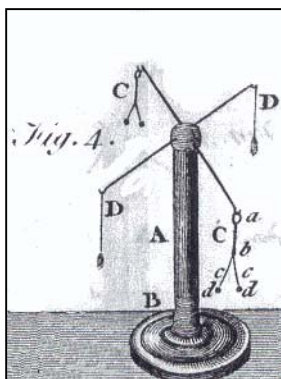


Fig. 7 Electrómetro de bolas (Fig. 4 del plato I del *Treatise* (1782) de Cavallo)

A continuación Cavallo describe otro electrometro que emplea cuando los experimentos los realiza con lluvia o si la electricidad atmosférica es lo suficientemente alta:

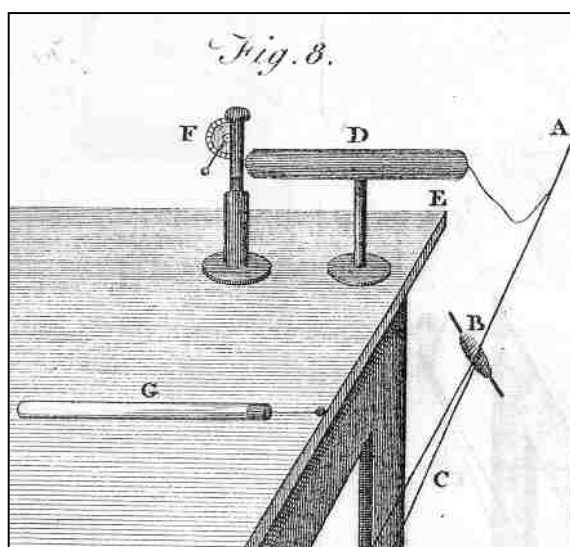


Fig. 8 *Treatise* (1782) de Cavallo Fig. 8 del Plato III

When the kite has been raised, I generally introduce the string through a window in a room of the house, and fasten it to a strong silk lace, the extremity of which is generally tied to a heavy chair in the room. In fig. 8 of Plate III. A B represents part of the string of the kite which comes within the room; C represents the silk lace; D E, a small prime Conductor, which, by means of a small wire, is connected with the string of the kite; and F represents the quadrant electrometer⁶¹, fixed upon a stand of glass

⁵⁹ El *electrómetro de bolas de corcho* era el electrometro más sencillo destinado a detentar y “cuantificar” la electricidad existente. Lo describe Cavallo en su *Treatise* (1782) en el capítulo III y en la fig. 4 del plato I, indicando que fue inventado por John Canton.

⁶⁰ CAVALLO, T. (1782) *A complete Treatise* ... pp. 359-366.

⁶¹ El *electrómetro de cuadrante* fue inventado por William Henley y descrito en 1772 en *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* LXII, pp. 359-364.

covered with sealing-wax, which I used to put near the prime Conductor, rather than to fix it in a bale upon the Conductor, because the string A B sometimes shakes so as to pull the prime Conductor down; in which case the quadrant electrometer remains safe upon the table, otherwise it would be broken, as I have often experienced before I thought of this method. G represents a glass tube, about eighteen inches long, with a knobbed wire cemented to its extremity; which instrument I use to observe the quality of the Electricity, when the Electricity of the kite is so strong that I think it not safe to come very near the string. The method is as follows: I hold the instrument by that extremity of the glass tube which is the farthest from the wire, and touch the string of the kite with the knob of its wire, which, being insulated, acquires a small quantity of Electricity from it; which is sufficient to ascertain its quality when the knob of the instrument is brought near an electrified electrometer.⁶²

Con este sistema experimental Cavallo realizó durante dos años experiencias relacionadas con la electricidad atmosférica, en concreto la primera esta fechada el 2 de septiembre de 1775 y la última el 8 de enero de 1777⁶³. Como consecuencia de ello Cavallo deduce las siguientes leyes:

General Laws, deduced from Experiments performed with the electrical Kites.

- I. The air appears to be electrified at all times; its Electricity is constantly positive, and much stronger in frosty, than in warm weather; but it is by no means less in the night than in the day-time.
- II. The presence of the clouds generally lessens the Electricity of the kite: sometimes it has no effect upon it; and it is very seldom that it increases it a little.
- III. When it rains, the Electricity of a kite is generally negative, and very seldom positive.
- IV. The aurora borealis seems not to affect the Electricity of the kite.
- V. The electrical spark taken from the string of the kite, or from any insulated Conductor connected with it, especially when it does not rain, is very seldom longer than a quarter of an inch; but it is exceedingly pungent. When the index of the electrometer is not higher than 20°, the person that takes the spark will feel the effect of it in his legs; it appearing more like the discharge of the electric jar, than the spark taken from the prime Conductor of electrical machine.
- VI. The Electricity of the kite is in general stronger or weaker, according as the string is longer or shorter; but it does not keep any exact proportion to it: the Electricity, for instance, brought down by a string of a hundred yards, may raise the index of the electrometer to 20° when, with double that length of string, the index of the electrometer will not go higher than 25°.
- VII. When the weather is clear, and the Electricity is pretty strong, the index of the electrometer, after taking a spark from the string, or presenting the knob of a coated

⁶² CAVALLO, T. (1782) *A complete Treatise ...* pp. 366-7

⁶³ Describe 22 experiencias: ⁶³ CAVALLO, T. (1782) *A complete Treatise ...* pp. 370-92.

phial to it, rises surprisingly quick to its usual place; but in dry and warm weather, it rises exceeding flow.⁶⁴

A continuación describe otros aparatos⁶⁵, distintos a la cometa, con los que realiza otros experimentos con los que obtiene resultados similares.

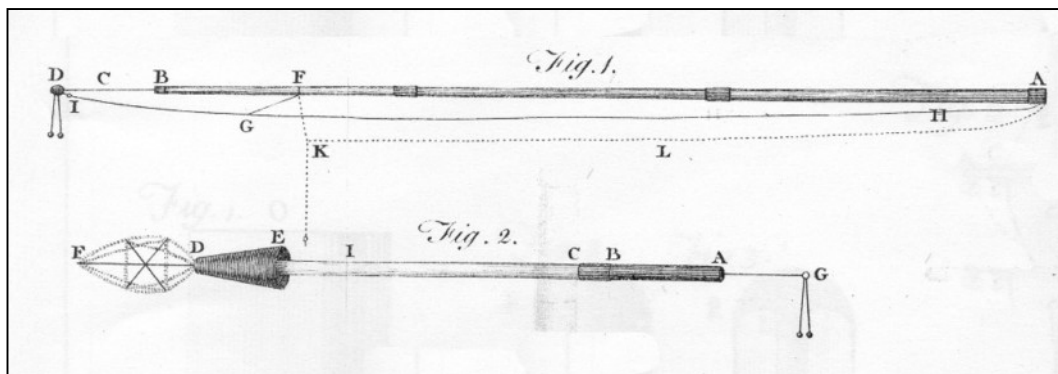


Fig. 9 *Atmospherical Electrometer* (fig. 1) y *Electrometer for the Rain* (fig. 2) (Plato II del *Treatise* (1782) de Cavallo)

Las cometas eléctricas durante el siglo XIX

El perfeccionamiento de los electrómetros y su empleo en la medida de la electricidad atmosférica a principios del siglo XIX y a lo largo del mismo, representó el fin del uso de la cometa como instrumento de medida de la electricidad atmosférica, a pesar de todo encontramos algún uso tardío.

A finales del siglo XIX, en 1885, según describe en un artículo el meteorólogo americano Alexander McAdie⁶⁶, repitió en el Observatorio de Blue Hill el experimento de la cometa eléctrica con instrumentos modernos⁶⁷ de medición del potencial eléctrico.

En 1827 por medio de un tren de cometas en Ginebra el ingeniero y físico Jean Daniel Colladon, realizó experiencias con cometas eléctricas, según describe en un artículo publicado en la revista *La Nature*:

Il y a soixante ans, à quelques mois près, que je faisais usage de cerfs-volants dans un but scientifique. Il s'agissait alors de recherches électriques et j'avais lu mon premier travail à l'Institut dans le courant de l'été, dans lequel je montrais que le courant produit par les machines électriques à frottement, les bouteilles de Leyde et même l'électricité des nuages, pouvaient dévier l'aiguille aimantée et établir un rapport entre les effets de la pile de Volta et l'électricité produite par le frottement, ou même celle des nuées.

⁶⁴ CAVALLO, T. (1782) *A complete Treatise* ... pp. 392-4.

⁶⁵ Los denominados electrómetros atmosféricos (*Atmospherical Electrometer*) y Electrómetro para la lluvia (*Electrometer for the Rain*)

⁶⁶ McADIE, A. (1891) Franklin's Kite Experiment. *The American Meteorological Journal*. Julio, pp. 97-108.

⁶⁷ Uso dos cometas y un electrómetro de cuadrante múltiple.

Dans l'automne de 1827 je vins en Suisse, j'apportai avec moi mon galvanomètre et je renouvelai mes essais en temps parfaitement serein et en temps de pluie; après avoir constaté qu'en temps serein il suffit de s'élever d'environ 100 mètres pour avoir des signes visibles et tangibles d'électricité positive, et après avoir montré que sur une montagne les symptômes d'électricité sont sensiblement les mêmes et ont la même intensité que 700 mètres plus bas dans la plaine, j'essayai, par des temps pluvieux, de mesurer l'électricité des nuages, et pour cela j'entrepris de m'élever à environ 500 mètres au-dessus du sol. Je faisais ces expériences avec des cerfs-volants de grandeur moyenne, en toile, munis de ficelles conductrices par un fil d'argent qui doublait la ficelle, mais pour éviter de construire un cerf-volant de grandeur extraordinaire, j'employai trois cerfs-volants attachés successivement l'un au dos de l'autre.

En effet, si on donne à un cerf-volant plus de ficelle qu'il n'en peut soulever, il s'éloigne bien, mais il ne monte plus et la ficelle de trop traîne sur le sol. Mais attachez ce cerf-volant à un autre, le second s'élèvera à son tour autant que le premier et vous doublerez la hauteur, de même pour un troisième cerf-volant attaché au dos du second, qui triple alors la hauteur, et j'atteignis ainsi près des 500 mètres avec une ficelle conductrice.

Ces expériences doivent être faites avec précaution, si on veut éviter de se faire foudroyer, comme Reichmann⁶⁸. Je faisais ces expériences dans la campagne de mon parent, près de Genève, mais je connaissais le sujet, j'avais eu soin de placer hors de la chambre et d'enfoncer en terre, dans un terrain humide, une barre de fer qui s'élevait jusqu'à la fenêtre ou elle se terminait par une boule. J'opérais dans une vaste chambre ayant de hautes fenêtres; je développais la ficelle avec un treuil spécial en verre, et j'attachais finalement mon cerf-volant avec un long cordon de soie dans la chambre, en laissant les étincelles foudroyer, de la boule terminant la ficelle, à la boule qui communiquait avec le sol, et cela avec un coup à sec comme aurait fait un petit pistolet.

J'eus alors un spectacle magnifique qui m'enthousiasma. Il ne tonnait nulle part au dehors, mais l'électricité conduite par la ficelle qui pouvait avoir en tout 400 mètres de longueur s'échappait incessamment et produisait des étincelles, longues de près d'un mètre qui formaient de zigzags, avaient toutes les couleurs du blanc, du rouge et même du violet.

Je courus chercher mon parent pour le faire jouir du spectacle, mais il avait plus de soixante-dix ans, et il voyait avec d'autres yeux que les miens; il connaissait mal l'électricité, il crut que son immeuble courait le danger de la foudre, n'ayant pas de paratonnerre, et me supplia d'arrêter cet essai. Heureusement j'avais eu le temps de voir ce que je désirais et je mis fin à l'expérience et aux craintes de mon parent.⁶⁹

También se tiene constancia de los experimentos llevados a cabo por el Franklin Kite Club⁷⁰ en la década de los 30 del siglo XIX, en Estados Unidos, tal como es comentado por el meteorólogo C. Abbe en una nota publicada en la edición de noviembre de 1896 del *Monthly Weather Review*:

⁶⁸ Ver anexo documental.

⁶⁹ COLLADON, D. (1887). Expériences sur les Cerf Volant. *La Nature* 15 (757), pp. 97-8

⁷⁰ ABBE, C. (1896). The Franklin Kite Club, *Monthly Weather Review*, XXIV, p. 416. Ver también ESPY, J. P. (1841). *The Philosophy of Storms*. Boston, pp. 167, 175.

The Franklin Kite Club.

We have on several occasions published in the Monthly Weather Review such items as we could gather relative to have been the most systematic effort as yet made to develop the kite for meteorological purposes. Quite recently Mr. William J. Rhees who was for many years Chief Clerk of the Smithsonian Institution under Professors Henry and Baird informed us that he had obtained an interesting item in connection with the life of the late William B. Taylor, who was born in 1821 in Philadelphia but for ever forty years was well known as one of the most learned and able of the scientific men employed in the Patent Office and the Smithsonian Institution.

Mr. Rhees kindly communicates the following abstract from his unpublished manuscript memoir of Mr. Taylor:

While attending school in the winter of 1835-36, Taylor lived with an aunt, who was the matron of the Philadelphia City Hospital (at Schuylkill, Fourth and Coates streets). This hospital was in the middle of a large lot surrounded by a fence but free from trees or other obstructions.

In 1835-36 several gentlemen formed a society with the name of "The Franklin Kite Club" for the purpose of making electrical experiment. For a considerable time they met once a week at the City Hospital grounds and flew their kites. These were generally square in shape, made of muslin or silk stretched over a framework of cane reeds, varying in size from 6 feet upward some being 20 feet square. For flying the kites annealed copper wire was used, wound upon a heavy reel 2 or 3 feet in diameter insulated by being placed on glass support. When one kite was up sometimes a number of others would be sent upon the same string. The reel being inside the fence the wire from the kite crossed over the road. Upon one occasion as a cartman passed, gazing at the kites he stopped directly under the wire and was told to catch hold of it and see how hard it pulled. In order to reach in he stood up on his cart, putting one foot on the horse's back. When he touched the wire the shock went through him as also the horse, causing the latter to jump and the man to turn a somersault, much to the amusement of the lookers on, among whom was Taylor.

It was the incident and other of a similar character connected with the Kite Club, that turned his youthful mind to science and especially to electrical phenomena.

Conclusiones

ANEXO DOCUMENTAL

DATE	NAME.	EXPERIMENTS.	REFERENCES.
1752	Kinnersley, Boston.....	{ Observations on the electrification of the air.	{ "Franklin's Letters," "Phil. Trans., 1763, 1773."
1752	LeMonnier, Paris.....	{ Observations on the electrification of the air.	"Mem. de Paris," 1752.
1752	De Roinas, Paris.....	{ Observations on the electrification of the air.	{ "Mem. Sav. Etrange," II. 1755.
1752	Abbe Mazeas, Paris.....	{ Kite experiment, independently of Franklin.	"Phil. Trans.," 1753.
1752	Abbe de Nollet, Paris....	{ Speculations on the theory of electricity.	{ "Recher. sur les causes," etc., Paris, 1749-54. "Recueil des lettres, etc.," Paris, 1753. "Lettres sur l'elec," Paris, 1774.
1752	Watson, London.....	{ Experiments on electrification of clouds and protection from lightning.	"Phil. Trans.," 1751, 1752.
1753	Richman, St. Petersburg	{ Electrical gnomon. Killed by lightning, Aug. 6, 1753.	"Phil. Trans.," 1753.
1753	Canton, London.....	{ Observations of the electrification of clouds.	{ "Franklin's Letters," and "Phil. Trans.," 1753.
	Collinson, London.....	{ Franklin's correspondent who introduced F's experiments to the notice of the Royal Society.	
1753	Pere G. B. Beccaria, Turin.	{ Systematic observations with an electroscope.	{ "Lettere del Elettric," Bologna, 1758.
1754	D'Alembert, Paris.....	{ Experiments and observations during thunderstorms.	{ "Mem. l'Acad. r. des Sciences," May, 1762. "Hist. abrégé d'ébe," 1776.
1769	Cotte, Paris.....	Memoirs on Meteorology.	{ "Mem. Paris," 1769-72. "Journ. Phys.," XXIII, 1783
1772	Ronayne, London.....	{ Observations with regard to fog and mist.	"Phil. Trans.," 1772.
1772	Henley, London.....	{ Observations and quadrant electrometer.	"Phil. Trans.," 1772.
1775	Cavallo, near London....	{ Improvements in apparatus and observations on fogs, snow-clouds and rain.	"Treatise on Elec.," 1777.
1784	De Saussure.....	{ Improvements in apparatus and observations.	"Voyage dans les Alps."
1786-7	Abbe Mann.....	{ Daily observations with an electrical machine of a number of revolutions required to produce a given spark—with a record of the meteorological conditions.	
1788	Volta.....	{ New electroscope and burning match.	{ "Lettere Sulla Meteor.," 1783.
	Crosse.....	{ Experiments with collectors.	"Gelb. Ann. Bd.," 41 S. 60.
1791	Read.....	{ Improved insulation and conductors.	"Phil. Trans.," 1791.
1792	Von Heller, Fulda.....	Observations.	"Green's J. d. P.," Bd. 4
	Schubler, Tubingen.....	{ Observations using "weather-rod" method.	{ "J. de Phys.," LXXXIII, 184.

Fig. 10

Tabla en donde se muestran los diferentes experimentos llevados a cabo en la segunda mitad del siglo XVIII relacionados con la electricidad atmosférica y naturaleza eléctrica de los rayos

(McADIE, A. (1891) Franklin's Kite Experiment. *The American Meteorological Journal*. Julio, p.100)

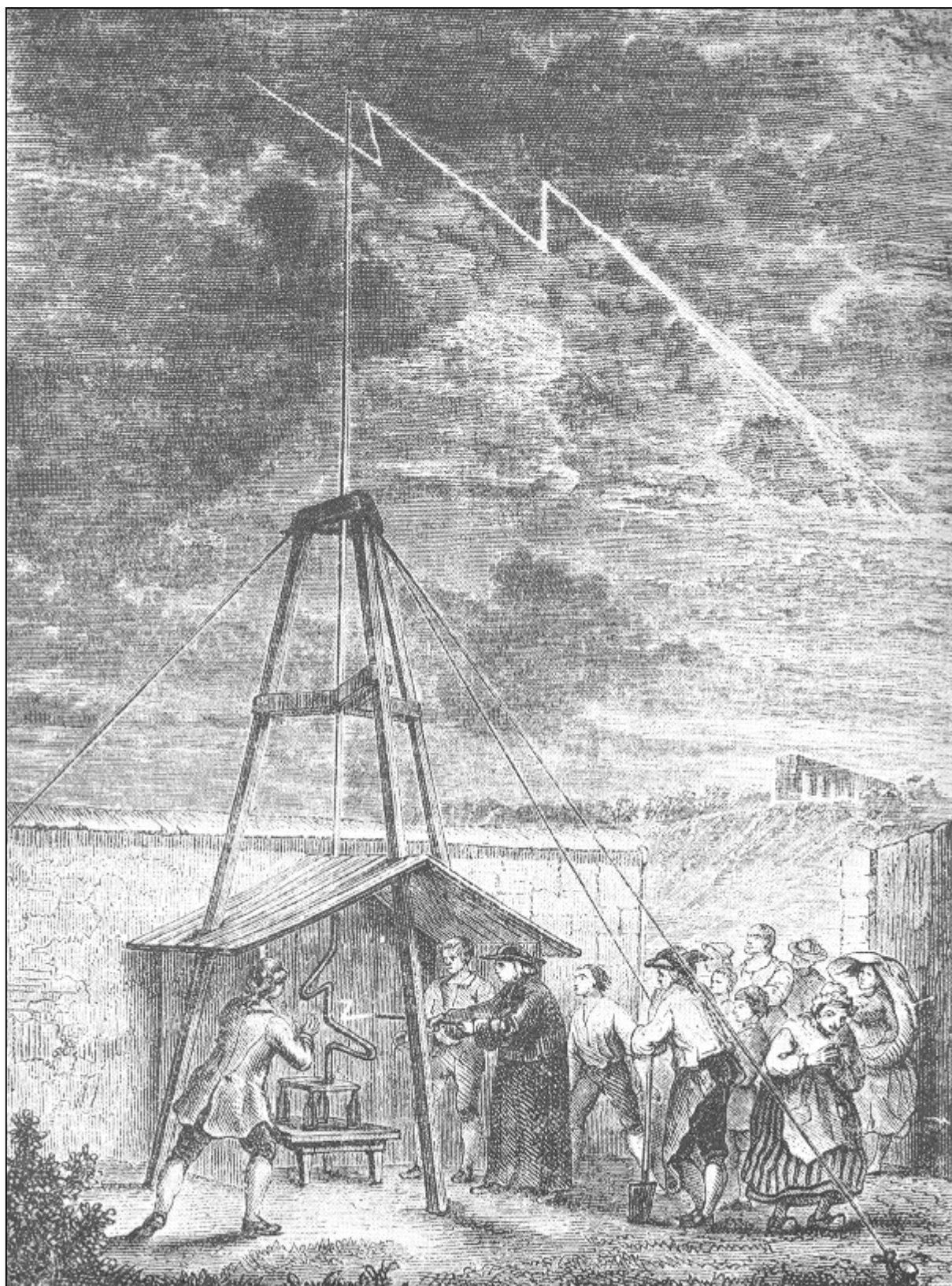


Fig. 11 Experimento de Marly según un grabado francés del siglo XIX

XCV. *A Letter of Benjamin Franklin, Esq;
to Mr. Peter Collinson, F. R. S. concerning
an electrical Kite.*

Philadelphia, Oct. 1, 1752.

Read Dec. 21
1752.

AS frequent mention is made in the public papers from Europe of the success of the Philadelphia experiment for drawing the electric fire from clouds by means of pointed rods of iron erected on high buildings, &c. it may be agreeable to the curious to be informed, that the same experiment has succeeded in Philadelphia, tho' made in a different and more easy manner, which any one may try, as follows:

Make a small cross, of two light strips of cedar; the arms so long, as to reach to the four corners of a large thin silk handkerchief, when extended: tie the corners of the handkerchief to the extremities of the cross; so you have the body of a kite; which

[566]

being properly accommodated with a tail, loop, and string, will rise in the air like those made of paper; but this, being of silk, is fitter to bear the wet and wind of a thunder-gust without tearing.

To the top of the upright stick of the cross is to be fixed a very sharp-pointed wire, rising a foot or more above the wood.

To the end of the twine, next the hand, is to be tied a silk riband; and where the twine and silk join, a key may be fasten'd.

The kite is to be raised, when a thunder-gust appears to be coming on, (which is very frequent in this country) and the person, who holds the string, must stand within a door, or window, or under some cover, so that the silk riband may not be wet; and care must be taken, that the twine does not touch the frame of the door or window.

As soon as any of the thunder-clouds come over the kite, the pointed wire will draw the electric fire from them; and the kite, with all the twine, will be electrified; and the loose filaments of the twine will stand out every way, and be attracted by an approaching finger.

When the rain has wet the kite and twine, so that it can conduct the electric fire freely, you will find it stream out plentifully from the key on the approach of your knuckle.

At this key the phial may be charged; and from electric fire thus obtain'd spirits may be kindled, and all the other electrical experiments be performed, which are usually done by the help of a rubbed glass globe or tube, and thereby the sameness of the electric

[567]

tric matter with that of lightning completely demonstrated.

I was pleas'd to hear of the success of my experiments in France, and that they there begin to erect points upon their buildings. We had before plac'd them upon our academy and state-house spires.

Fig. 12

FRANKLIN, B. (1753) A letter of Benjamin Franklin, Esq; to Mr. Peter Collinson, F.R.S. concerning an electrical Kite. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* ILVII, pp. 565-567

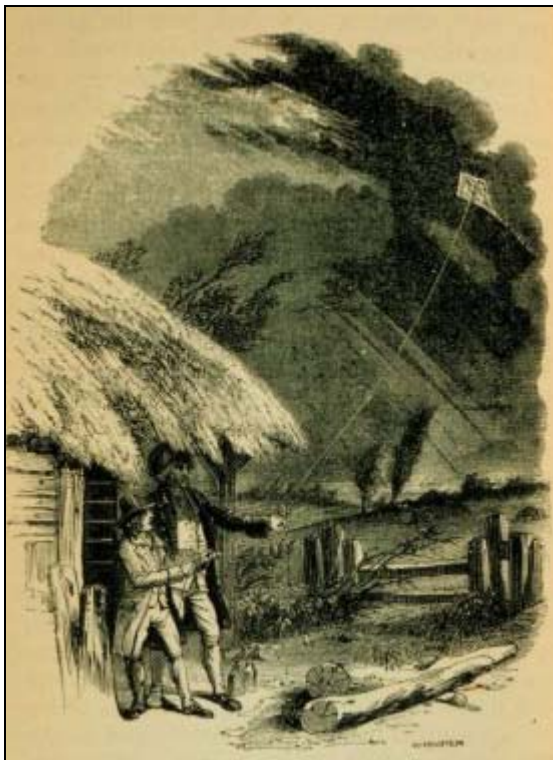


Fig. 13 Distintas representaciones durante el siglo XIX del experimento de la cometa de Franklin

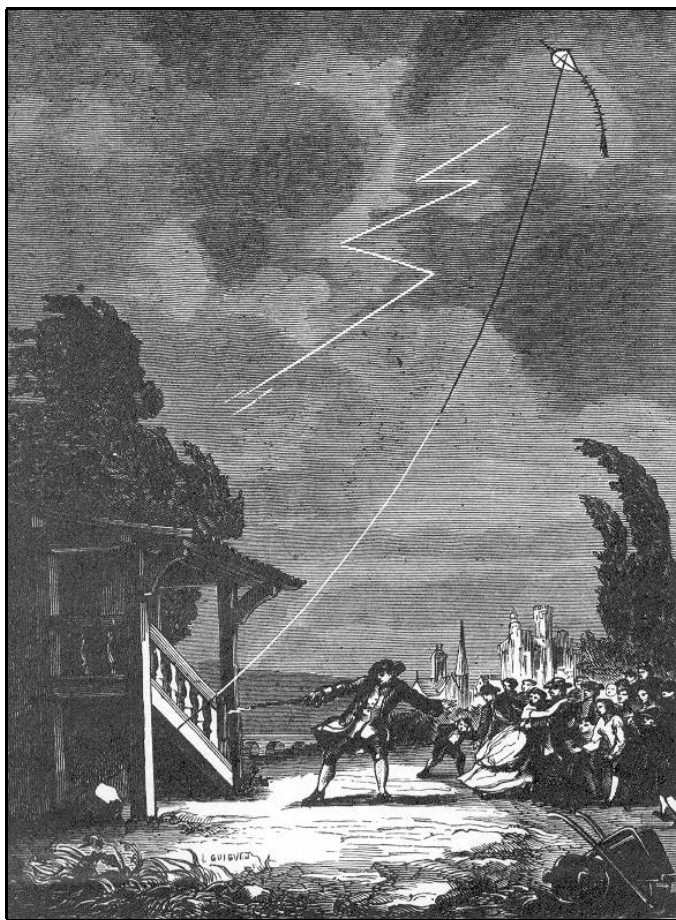


Fig. 14 Experimento de Romas realizado en Nérac (Francia) el 7 de junio de 1753 según un grabado francés del siglo XIX

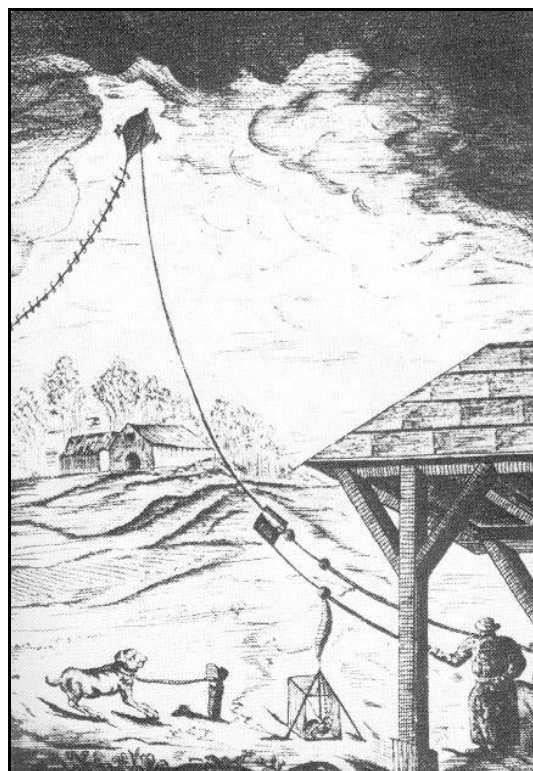


Fig. 15 Grabado perteneciente a la obra *Mémoire, sur les mœurs...* (1776) del experimento de Romas con el perro y la paloma.

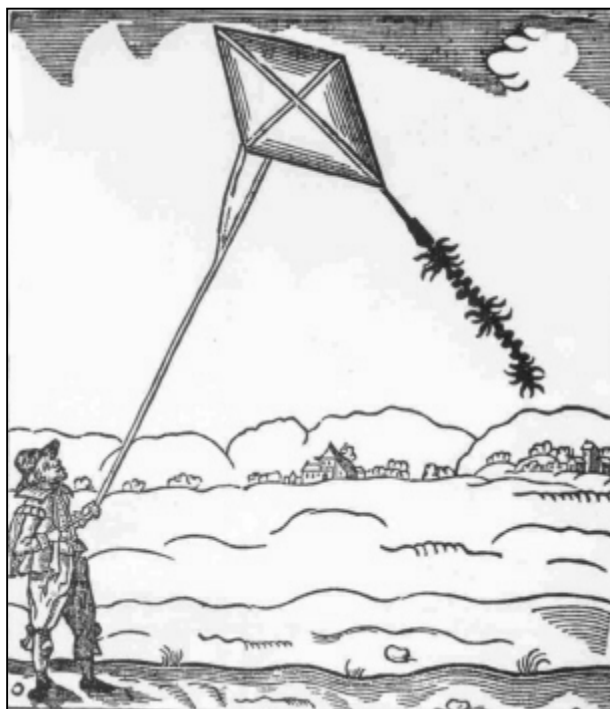


Fig. 16 Ilustración de la obra de John Bate *The Mysteries of Nature and Art* de 1634

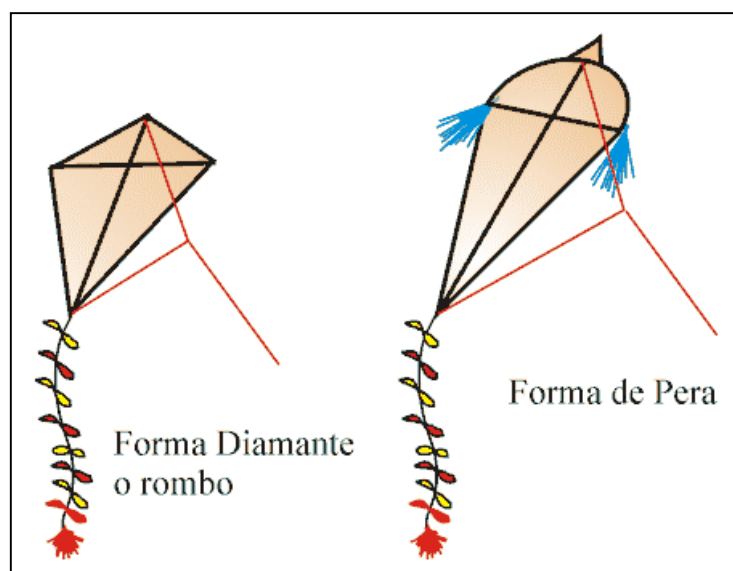


Fig. 17 Formas tradicionales de las cometas



Fig. 18

Muerte del electricista de origen alemán Georg Wilhem Richmann en San Petersburgo en el año 1753, quien intentando repetir el experimento de Marly, se aproximó a un pararrayos aislado durante una tormenta y resultó muerto. Su asistente solo quedó inconsciente.