



**MAQUINA DE WIMSHURST**  
**WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE**

**REF:QLL015**

## INDEX OF LANGUAGES- ÍNDICE DE IDIOMAS

ESPAÑOL.....	2
ENGLISH.....	13

## MAQUINA DE WIMSHURST

MAQUINA DE WIMSHURST .....	2
Elementos incluidos .....	3
Otros elementos requeridos .....	3
Introducción .....	3
Teoría.....	3
Uso.....	4
Utilizando el generador electrostático.....	6
DISTINTOS EXPERIMENTOS Y DEMOSTRACIONES UTILIZANDO EL GENERADOR .....	7
Experimento 1: medida del potencial entre dos esferas de electrodos de descarga .....	7
Experimento 2: estimación de la energía eléctrica generada por el generador.....	7
Experimento 3: Determinación de la polaridad de los electrodos del generador.....	7
Experimento 4: demostración del viento eléctrico.....	8
Experimento 5: demostración de la presencia de cargas positivas y negativas.....	8
Precauciones de uso.....	8
Accesorios adicionales.....	9

## Elementos incluidos

Máquina de Wimshurst

Instrucciones

## Otros elementos requeridos

1. Electroscopio
2. Tubos de descarga de gas
3. Micro amperímetro
4. Giro eléctrico
5. Vela
6. Conductor acentuado
7. Barra de ebonita o cristal
8. Paño de lana o seda

## Introducción

Un generador es un aparato que produce alto voltaje, con el cual opera el principio de inducción electrostática y se utiliza principalmente para demostraciones electrostáticas. Esta máquina fue desarrollada por Mr. James Wimshurst en el año 1878 y por ello tiene su nombre.

El generador puede utilizarse para varias demostraciones, para tubos de rayos radiografía, los tubos cátodo y para muchos tipos de tubos de descarga de gas, para detectar la llama de una vela ardiendo cerca del punto con un potencial eléctrico alto o entre las placas de un condensador

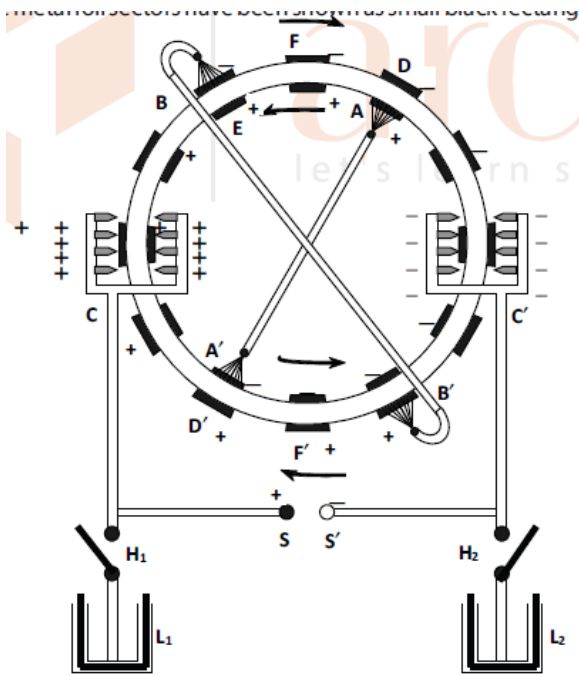
cargado, para encender una explosión de vapor en polvo o el etanol con la chispa de esta máquina, para conducir un motor electrostático o un molinete, a un conjunto de campanas que consiste en un metal o bola suspendida de un hilo aislado entre dos campanas con potencial eléctrico opuesto, para separar una mezcla de sal y pimienta, para precipitar el humo desde el aire...

## Teoría

El funcionamiento de un generador electrostático Wimshurst se basa en el principio de electróforo. El disco tiene que ser levantado varias veces para que se cargue eléctricamente en la superficie del disco.

En este aparato se utilizan dos juegos de conductores, que rotan en direcciones opuestas el uno del otro. La carga eléctrica en uno de ellos es utilizada para producir carga eléctrica en el otro. Se muestra un esquema.

Un par de platos acrílicos circulares (P y Q) los dos con el mismo diámetro, se montan coaxialmente paralelamente al otro. Estos platos rotan en direcciones opuestas con respecto al otro sobre el eje horizontal con ayuda de una polea y una correa. El eje en el cual están montados los platos también tiene dos poleas pequeñas. El eje de polea mayor tiene un mango. Una correa de goma conecta las dos poleas grandes a las respectivas pequeñas. Un número igual de tiras de papel de aluminio se pone radialmente a lo largo del borde de los platos en su superficie externa. Es muy importante que el número sea múltiplo de dos. En la figura 1, los platos se han dibujado como dos círculos concéntricos a lo largo de las conexiones y de los sectores de tiras de aluminio que son rectángulos negros.



Los dos alambres de metal en forma de U (C y C') con los cepillos (cable) al final de la U están montados horizontalmente en el borde del plato, hay una en cada plato, en total hay 4 cepillos por plato que están continuamente rozando con las tiras de aluminio que tienen los platos en el borde. Los cables se llenan de carga y la transfieren a la bola que tienen los electrodos en su extremo (S y S'). Los electrodos están aislados el uno del otro y la carga acumulada se puede ver en forma de chispa entre ellos. Los dos electrodos se pueden mover para cambiar la distancia entre ellos moviendo su mango. La descarga entre los dos electrodos depende del potencial eléctrico acumulado y de la separación de las esferas.

Las varillas de metal que tocan mediante el cepillo con el plato están en cruz formando ángulos casi rectos entre ellas la varilla en forma de U (B-B) y la recta (A-A), estas varillas funcionan como cepillos neutralizantes distribuyendo la carga. En la base de madera, hay dos jarras de Leyden (condensadores) (L1 y L2) dispuestas de forma vertical, la jarra está conectada a los electrodos a través de los elevadores metálicos (H1 y H2).

La jarra de Leyden es una jarra de plástico que tiene aluminio por dentro y por fuera, de altura más bajo que la altura de la jarra, sin cubrirla. La capa exterior de aluminio minimiza la fuga y actúa como aislante. Estas jarras son capaces de almacenar energía eléctrica con poca pérdida y sin avería eléctrica. Todos los contactos positivos entre las jarras de Leyden, etc.... Están unidos en un cristal acrílico transparente que sujeta el eje también de los platos. También actúa como aislamiento eléctrico entre estos componentes.

## Uso

Empieza a girar la manivela de tal forma que el plato frontal (En la figura 1, como plato interior) gire en contra de las agujas del reloj, mientras que el exterior rote en dirección de las agujas del reloj (la dirección de los platos se muestra con flechas en la figura 1). Tenemos que tener en cuenta que las tiras de aluminio están cargadas levemente algo necesario para comenzar a utilizar la máquina. Suponemos que el metal F tiene una carga negativa leve.

Cuando F está en la posición D, la presencia de carga negativa en este metal inducirá carga positiva en el otro plato, justo el opuesto, el cual está en contacto con la terminación de A. la varilla de neutralización, induce una carga negativa en el sector de metal en contacto con los cepillos de A. desde que el plato está en rotación continua, el contacto entre los dos

sectores en A y A a través de las varillas de neutralización, se rompe de tal forma que se retienen las cargas eléctricas. Cuando el sector que era A llega a E induce una carga negativa en el sector en contacto con B. induce carga positiva en el sector en contacto con final de B de la otra varilla neutralizante. La carga negativa inducida en B se mueve en sentido de las agujas del reloj y llega a la posición D, repite el procedimiento rotando los discos. Los sectores están rotando continuamente, periódicamente, rozan con los peines o cepillos C y C transfiriéndoles toda la carga. Como resultado, la carga negativa está en D y se pierde en C, mientras que la carga positiva en D se pierde en C. De forma similar, el plato interior rota en dirección contraria, la carga positiva en A se pierde en C mientras que la carga negativa se dé A a C. esto hace que C este cargado positivamente y C cargado negativamente. Esto continúa de tal forma que todos los sectores se cargan, se dan distintas combinaciones de sectores que implican a todos los sectores de ambas placas, cargándose todos por el proceso de inducción. Gradualmente todos los sectores de la parte superior del plato inferior adquieren carga positiva y los del plato exterior adquieren carga negativa. De igual forma, todos los sectores de la mitad inferior del plato interior adquieren carga negativa y el plato exterior adquiere carga positiva. Es evidente que para cualquier instante medio plato y la mitad del opuesto estará igualmente cargados (positivamente o negativamente).

C recibe cargas positivas y series negativas en c. cuando un sector cargado positivamente roza con el peine induce carga negativa. Esta carga negativa inducida es pronto conducida hacia el electrodo S. dejando el peine que pronto esta descargado hasta que se vuelva a cargar por la acción de inducción. De igual forma con la carga negativa.

Cuando los electrodos de descarga están en contacto con las jarras de Leyden, se almacenan las cargas en las jarras hasta que hay un potencial

suficiente para cruzar los electrodos en forma de una chispa. Cada rotación del disco genera mayor carga. Por ello, la carga se acumula exponencialmente hasta que llega al ratio en el cual la carga se deposita en la jarra de Leyden es igual al ratio de fuga de carga de los condensadores y de los electrodos.

Cuando las jarras de Leyden están conectadas se aumenta la capacidad de descarga de los electrodos por ello la cantidad de carga que acumulan las esferas resulta acumulada. Cuando no estén conectadas las jarras de Leyden las chispas producidas serán más frecuente pero menos intensas. Con las jarras conectadas, la frecuencia de las chispas decrece (se requiere más tiempo para acumular carga) pero la intensidad de la chispa aumenta.

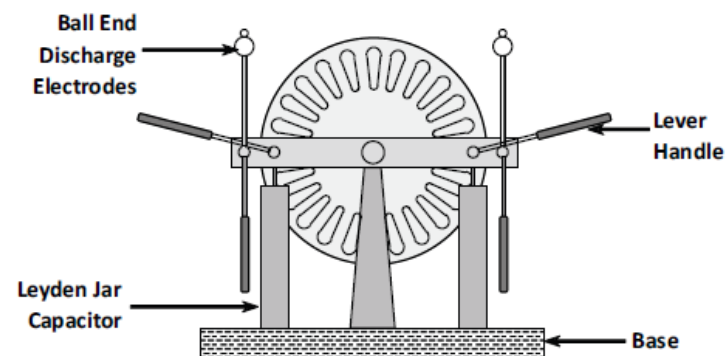
La energía de las cargas producidas y almacenada en los electrodos de descarga en forma de potencial eléctrico y después dará una chispa en el aire, se deriva de la energía o trabajo mecánico del movimiento de los platos. Se tiene que realizar más trabajo en la rotación de los platos cuando están cargados en comparación a cuando no están cargados, el trabajo aumenta con la acumulación de cargas. El exceso de trabajo se transforma en energía eléctrica.

La distancia entre las esferas de los electrodos de descarga donde saltara la chispa depende de las condiciones ambientales y del diámetro de las esferas. Se da una aproximación del potencial eléctrico entre las dos esferas. La siguiente tabla muestra la diferencia entre dos esferas idénticas variando los diámetros se ve que corresponde a valores distintos de potencial para la chispa. La separación mínima entre dos esferas idénticas de distinto diámetro para distintos valores de potencial eléctrico sin chispa.

Potencial eléctrico (KV)	Diámetro de las esferas (cm)				
	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
20	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
30	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
40	1.40	1.32	1.30	1.30	1.30
50	2.00	1.82	1.73	1.71	1.65
60	2.81	2.40	2.21	2.16	2.02
70	4.05	3.16	2.80	2.68	2.41
80	-	4.40	3.50	3.26	2.82
90	-	-	4.40	3.93	3.28
100	-	-	-	4.76	3.75

## Utilizando el generador electrostático

Esta máquina está lista para utilizarse excepto por la manivela. Antes de ponerlo en marcha, pon la manivela en el eje central de las poleas inferiores de plástico y siga el procedimiento.



1. Coloca las esferas de los dos electrodos de descarga simétricamente cerca del centro del plato, a unos 25mm.
2. Ajusta las varillas (las que tienen los cepillos o cable rozando los platos) para que tengan un ángulo de 45 con las horizontales. Asegúrate de que los cepillos estén continuamente rozando los sectores de aluminio cuando gire el plato.
3. Ajusta las dos manivelas para que estén a 10mm de sus respectivos electrodos de descarga. En este caso, no habrá contacto eléctrico directo entre los electrodos de descarga y la jarra de Leyden. Cuando giran unos segundos los platos, se oirá un sonido por la transferencia de carga desde la jarra de Leyden hacia sus respectivos electrodos de descarga.
4. Mueve las dos manivelas para tocar sus respectivos electrodos de descarga, para que la jarra de Leyden haga contacto eléctrico directo con los electrodos. Rota los platos a gran velocidad. Observaras un sonido y una chispa de un electrodo a otro. Si la rotación de los platos es continua esta chispa se observara en intervalos regulares de tiempo. Esto es porque las jarras de Leyden

se están cargando continuamente con la carga opuesta y con alto potencial eléctrico acumulándose entre estos dos electrodos de descarga resulta en el chisporroteo del aire entre los electrodos y la formación de la chispa.

La formación de la chispa indica que el generador funciona.

## **DISTINTOS EXPERIMENTOS Y DEMOSTRACIONES UTILIZANDO EL GENERADOR**

### **Experimento 1: medida del potencial entre dos esferas de electrodos de descarga**

- Ponga el generador en marcha como se ha descrito con los electrodos a una distancia de 10mm.
- Gradualmente aumenta la distancia entre los dos electrodos y observa la formación de la chispa entre ellos.
- Anote la separación máxima entre ellos a la que no se produce chispa. Esta distancia te da aproximadamente el potencial eléctrico entre los dos electrodos.

Potencial eléctrico (en voltios) = 30,000 (longitud de la chispa en cm).

Se requiere un potencial de 30,000V para hacer saltar la chispa a una distancia de 1cm en aire seco. En el caso de aire húmedo, el valor desciende dependiendo del valor de humedad absoluta del agua porque el agua es conductora de electricidad por ello permite ver el chisporroteo más fácilmente. El generador puede producir chispas de 3-4 cm.

### **Experimento 2: estimación de la energía eléctrica generada por el generador.**

La energía mecánica utilizada para poner en marcha el aparato se convierte en energía eléctrica en forma de potencial eléctrico entre dos electrodos de descarga. Cuando se forma la chispa, la misma energía ioniza el aire por el que pasa la chispa. La energía se convierte en energía luminosa y energía sonora al formarse la chispa. El potencial eléctrico puede ser determinado como se ha descrito antes. Para determinar la corriente a través del electrodo de descarga conecta un micro amperímetro en los dos electrodos de descarga a una distancia a la que no se forme chispa. Anota la corriente máxima.

Energía generada (en Vatios) = potencial eléctrico (en voltios) corriente (en amperios).

También se puede hallar la resistencia interna.

Resistencia (Ohms) = potencial eléctrico (en voltios) / corriente eléctrica (en amperios).

### **Experimento 3: Determinación de la polaridad de los electrodos del generador.**

Carga un electroscopio a través de cualquiera de los electrodos de descarga del generador, el cual puede ser observado desde la divergencia de las hojas del electroscopio.

Frote una varilla de ebonita con un paño de lana. Tendrá carga negativa. Si las hojas del electroscopio divergen más indica la presencia de carga negativa en el electrodo de descarga del generador. La convergencia de las hojas del electroscopio implica la neutralización de la carga en ellos por carga negativa de la varilla de ebonita, indicando la presencia de carga positiva en el electrodo de descarga. De igual forma para el otro electrodo.

De la misma forma, la determinación de la polaridad o naturaleza de carga eléctrica de los electrodos de descarga del generador se puede realizar utilizando una varilla de vidrio frotada con paño de seda.

#### **Experimento 4: demostración del viento eléctrico.**

Conecta un alambre puntiagudo a cualquiera de los electrodos de descarga y coloca una vela a una distancia corta. Poniendo en marcha la maquina se verá que la llama de la vela es desviada como si se soplara. Esto es debido al viento eléctrico que fluye lejos del alambre. El viento eléctrico se produce por la alta densidad de carga en el final, el cual hace que se ionice el aire y este aire es soplado como resultado de la fuerza de repulsión entre las partículas de aire cargadas.

#### **Experimento 5: demostración de la presencia de cargas positivas y negativas.**

Si en el paso anterior, la vela se pone cerca del punto final del viento y se pone en marcha la máquina, no se observa que la llama se desvíe.

La carga presente en el cable atrae la carga opuesta y repele la misma. En caso de un cable cargado positivamente, la carga positiva de la llama se dibuja hacia ella mientras que la parte de la llama con carga negativa

es repelida lejos. Esto demuestra la presencia de los dos tipos de carga en la llama.

En el experimento anterior la vela estaba en comparación más lejos del final del cable que en este caso, y la deflexión de la llama no es debido a la repulsión entre el alambre cargado y la llama sino debido al tiro creado por las acciones puntuales en los iones en el aire entre el alambre y la llama.

### **Precauciones de uso**

1. Si hay mucha humedad no utilizar la máquina.
2. Todas las partes de la maquina tienen que ser limpiadas y secadas cuidadosamente para obtener resultados óptimos.
3. Los cepillos tienen que estar continuamente tocando los platos cuando estén girando.
4. Los mejores resultados se obtienen cuando las varillas de neutralización están a un ángulo de 45 con la horizontal y aproximadamente en ángulo recto entre ellas.
5. Cualquier grieta en las jarras de Leyden hacen que no se pueda utilizar el equipo.
6. Después de utilizarla, tiene que descargarse poniendo los electrodos de descarga juntos y con las jarras de Leyden conectadas a ellos.
7. no tocar ninguna parte de metal del aparato cuando se está utilizando. Solo se pueden tocar cuando no esté en uso. De todas formas hay que mantener una distancia de seguridad para evitar riesgos por el salto de la carga.

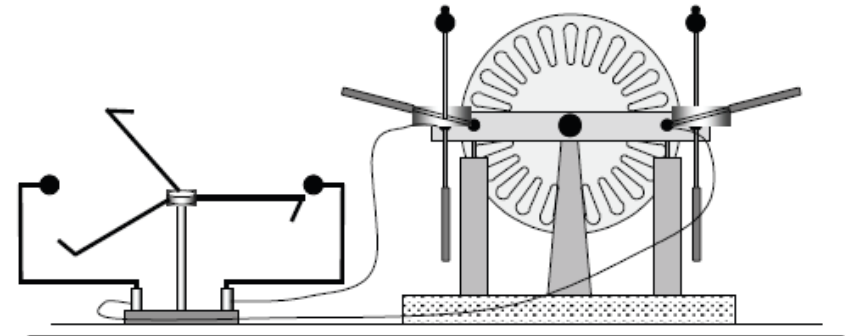


## Accesorios adicionales

Para poner distintos accesorios con el generador se pueden conectar a este a través de dos enchufes de 4mm proporcionados en el pivote de la bola final del electrodo utilizando enchufes tipo banana de 4mm. Cuando el generador esté conectado a alguno de los accesorios haciendo un circuito eléctrico externo, los electrodos de descarga tienen que estar separados para evitar la descarga de una chispa.

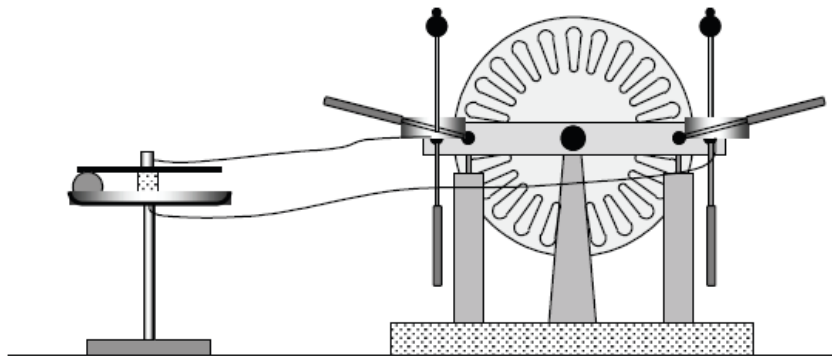
1. **Pluma eléctrica:** la pluma eléctrica es un conjunto de cintas de colores fijadas en una pequeña varilla de metal que se puede montar en la parte superior del soporte aislante. Conectarlo a cualquiera de las bolas terminales de los electrodos con un conector. Cuando el generador está funcionando a suficiente velocidad, la carga eléctrica se transfiere a la pluma a través del cable de conexión. Las cintas de colores empiezan a repelerse y extenderse.
2. **Cabeza de pelo:** la cabeza de pelo es un cepillo de pelos montados sobre una varilla de metal pequeña que se puede montar en la parte superior del soporte aislante. Conecta el generador como en el caso anterior. Una vez encendido, el pelo comenzará a repelerse y ponerse de pie en su extremo. Esto es por la transferencia gradual de cargas eléctricas desde el generador hasta el pelo que se extiende y se pone de punta.
3. **Giro eléctrico:** el giro eléctrico se compone de radios metálicos dispuestos de manera circular montados sobre un soporte. Los radios del giro eléctrico están doblados en el extremo en forma de L y sus puntas son puntiagudas. El soporte tiene dos postes de metal que se utilizan para poner dos bolas de electrodo como se muestra en la figura. Los electrodos están conectados a través de

cable de conexión a la bola terminal del electrodo del generador. Puesto en marcha los radios empiezan a girar.



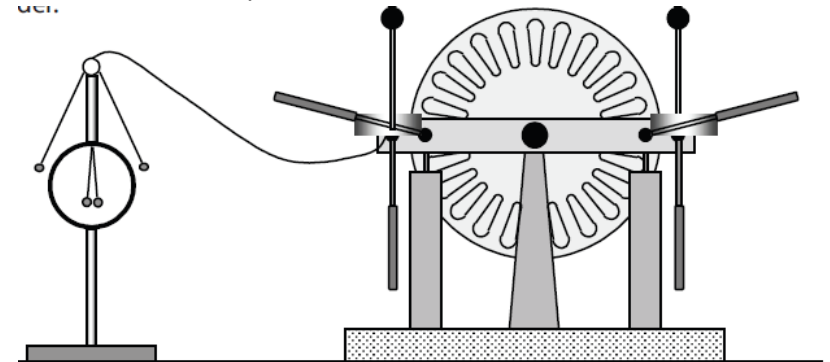
4. **Bola de carreras:** en este accesorio, la bola aislante se pone entre el platillo de metal y el disco metálico. Este accesorio tiene dos enchufes para conexión eléctrica de 4mm, uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Conecta una de las bolas terminales al enchufe en la parte superior de este accesorio y la otra conéctala al enchufe de la parte inferior con cables de conexión como se muestra en la figura. Asegúrate de que la bola está en una posición horizontal. Cuando pongas en marcha el generador se observará que la bola empieza a rodar y moverse continuamente con velocidad creciente a lo largo del borde doblado de la bandeja inferior. Se necesita un ligero empujón para comenzar el movimiento de la bola. La conexión eléctrica entre una de las bolas terminales del electrodo y el plato de la bola en rotación hace que se cargue el plato. Suponemos, que el plato adquiere carga negativa y que la bandeja inferior adquiere carga positiva desde el generador. Esto

hace que la superficie superior de la bola este cargada negativamente, desde que está en contacto con el plato inferior. De igual forma la bandeja inferior carga su superficie inferior de la bola aislante con carga positiva. Como resultado, las cargas que residen en los el plato inferior y superior de la bola, y también la bandeja inferior y superior empiezan a repelerse y como resultado la bola rueda. Mientras rueda la parte inferior de la bola cargada negativamente está en contacto con la inferior cargada positivamente de la bandeja y obtiene carga positiva por perdida de electrones. De forma similar, la porción inferior cargada positivamente en contacto con la superior adquiere carga negativa cogiendo electrones del plato. Esta pérdida y ganancia de electrones por la porción superior o inferior de la bola aislante hace que gire continuamente.



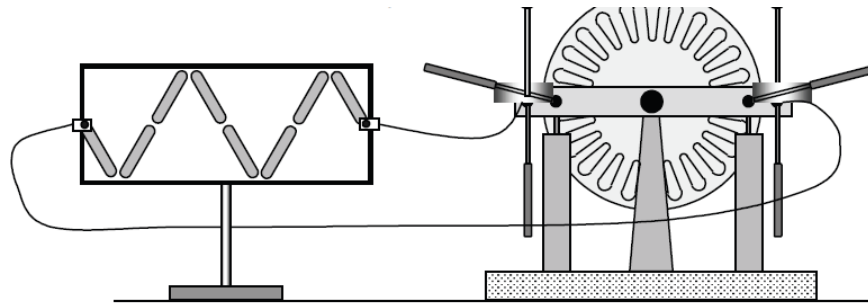
5. Cilindro hueco. El cilindro hueco es un cilindro metálico montado horizontalmente en su soporte aislante. Encima, tiene una bola de metal, montada sobre una varilla metálica, la cual está fijada verticalmente sobre el cilindro. De la bola metálica están

sostenidas cuatro bolas de tal manera que dos están suspendidas dentro del cilindro y dos están fuera del cilindro.

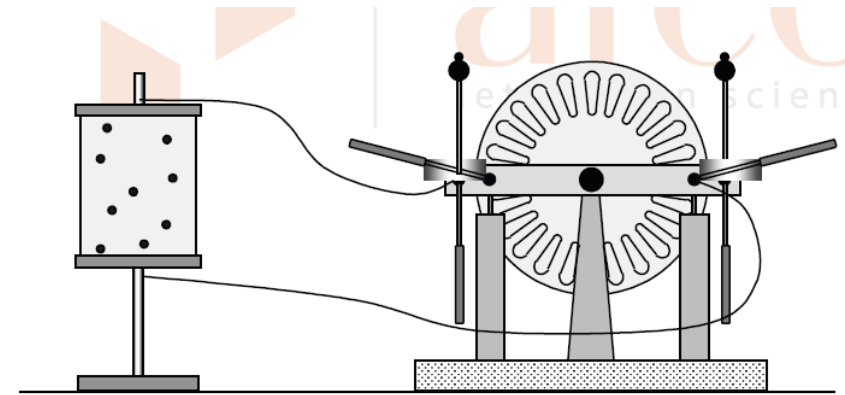


Se carga conectando la bola superior a cualquiera de los terminales, se observara que las bolas que están dentro no se afectan pero si las exteriores que se repelen lejos del cilindro. Esto es porque todas las cargas que coge el cilindro se mantienen en la superficie exterior de este. La carga en la superficie externa del cilindro carga las bolas con la misma carga y por ello son repelidas. Mientras no hay carga dentro del cilindro, las bolas de su interior están sin alteraciones.

6. Placa de iluminación: la placa de iluminación consiste en pequeñas hojas metálicas dispuestas en zig-zag sobre una placa de iluminación de tal forma que no se toquen entre ellas, con espacios, como se muestra en la figura inferior. Tiene dos terminales de conexión, se conectan las dos hojas.



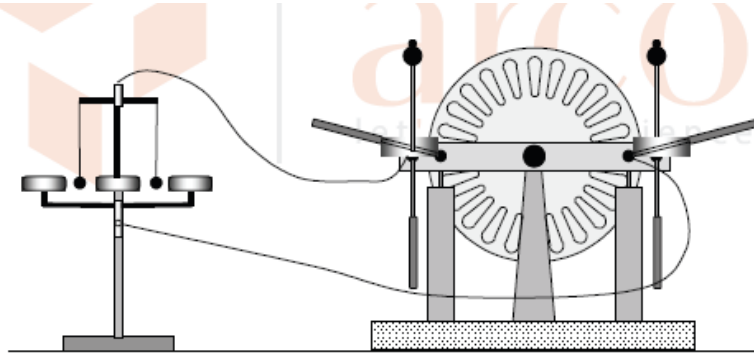
7. Tormenta de volta. El aparato de tormenta de volta consiste en un cilindro no conductor transparente (Perspex). Los dos lados del cilindro están cubiertos con una taza de metal que se puede quitar fácilmente. El aparato puede instalarse sobre el soporte aislante y tiene enchufe de 4mm encima y debajo para conexión eléctrica. Para la demostración de la tormenta de volta se pone una bola dentro del cilindro de manera que cubren solamente la superficie de las tapas y no se apilan una encima de otra. Móntalo en el soporte aislante y conecta la parte inferior y superior del aparato a la bola terminal del electrodo con el cable de conexión como se observa en la figura. Cuando se pone en marcha las bolas empiezan a subir y bajar rápidamente dando una impresión de una tormenta.



En este caso, la carga eléctrica de la bola terminal del electrodo carga el aparato conectado. Asumimos que la tapa inferior está cargada negativamente y la superior positivamente. Esto resulta en la acumulación de carga negativa en las bolas. La repulsión entre cargas parecidas y la atracción por la carga positiva en la tapa superior hace que las bolas suban, donde las bolas pierden el exceso de electrones a través de la tapa superior y regresan. Este proceso se produce en bucle.

8. Bombilla de neón: cuando una bombilla de neón, montado en una barra aislante, esta cerca de los electrodos cargados del generador. Esto es debido a la pequeña corriente que pasa a través del aire ionizado en los electrodos que a su vez es recibido por la bombilla de neón.
9. Campana eléctrica: la campana eléctrica consiste en tres gongos de metal dispuestos paralelos a los otros con dos borlas entre ellos suspendidas como se muestra en la figura. El gongo de la izquierda y derecha están conectados a un metal conductor con ayuda de un cable, y el del centro está montado sobre una barra aislante de

forma que no tenga la misma carga que los otros dos gongos. En el medio de los gongos hay un cable de metal delgado, tiene dos brazos en la parte superior mediante los cuales están suspendidos las borlas. En la parte superior tiene una toma de conexión eléctrica, las dos bolas y el gongo del centro pueden tener la carga opuesta que el de la derecha o izquierda. Está montado sobre un soporte aislante para la demostración.



Conecta la parte superior e inferior del aparato con las dos bolas terminales de los electrodos del generador. Una vez puesto en marcha el generador, las borlas de metal empezaran a oscilar entre los gongos y en el proceso se golpearan produciendo un sonido. En ese caso, la carga eléctrica de la bola y los electrodos cargan la parte superior e inferior del aparato porque están conectados. Las conexiones inferiores de los gongos izquierdo y derecho tienen una carga similar, mientras que en la carga superior el gongo del medio tiene la carga opuesta. Asumimos que el gongo central está cargado negativamente y los otros dos positivamente. Las dos borlas de metal también adquieren carga negativa por inducción.

También las borlas son repelidas por el gongo central y atraídas por el derecho y el izquierdo. Este proceso continua para hacer sonar.

10. Cilindro giratorio: consiste en un cilindro de plástico transparente con una tapa de plástico en la parte superior. La tapa de plástico tiene una pieza de metal con un agujero en el centro. El cilindro está montado en un soporte giratorio. Pon en marcha el generador para obtener suficiente descarga en la bola y electrodos. Mueve la bola terminal de los electrodos a parte de su posición para no tener descarga. Poniendo el cilindro en el soporte giratorio comienza a girar. La carga de la bola terminal del electrodo ioniza el aire. Cuando ya está rotando, la porción del cilindro más cercana al electrodo se carga por la inducción con la misma carga. Como resultado, hay repulsión y se mueve a otra posición en el proceso de pérdida de carga. Este proceso continua y por eso rota el cilindro.

## WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE

WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE .....	13
Items included .....	14
Other items required .....	14
Introduction.....	14
Theory.....	14
DIFFERENT EXPERIMENTS AND DEMONSTRATIONS USING WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE.....	18
Experiment 1: measurement of electric potential between the two discharge sphere electrodes .....	18
Experiment 2 : estimation of electrical energy generated by wimshurst machine. ....	19
Experiment 3: determination of polarity of electrodes of the Wimshurst machine .....	19
Experiment 4: demonstration of electric Wind.....	19
Experiment 5: demonstrating the presence of both negative and positive charges in a flame. ....	20
Precautions.....	20
ADDITIONAL ACCESSORIES FOR WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE	21

## Items included

Wimshurst electrostatic machine

User instructions

## Other items required

1. Electroscope
2. Gas discharge tubes
3. Microammeter
4. Electric Whirl
5. Candle
6. Pointed conductor
7. Ebonite or glass rod
8. Woolen or silk cloth

## Introduction

Wimshurst electrostatic machine or generator is a device to produce high voltages, which operates on the principle of electrostatic induction and is primarily used for electrostatic demonstrations. This machine was first developed by Mr. James Wimshurst in the year 1878 and hence is named after him.

The electrostatic generators can be used for the various demonstrations, viz, to operate X-ray tubes, cathode ray tubes and almost all types of vacuum or gas discharge tubes to deflect the flame of a candle burning near a pointed electrode at a high electric potential or between the plates of a charged capacitor; to ignite a dust or ethanol vapor explosion with the

spark from this machine; to drive an electrostatic motor or a pinwheel with corona; to ring a set of chimes consisting of a metal ball suspended with an insulated thread between two bells at opposite electric potential; to separate a mixture of salt and pepper; to precipitate smoke from the air...

## Theory

The working of a wimshurst electrostatic generator is based on the principle of electrophorus. In an electrophorus the disc has to be lifted repeatedly, a number of times so that the electric charge builds up on the surface of disc with each lifting.

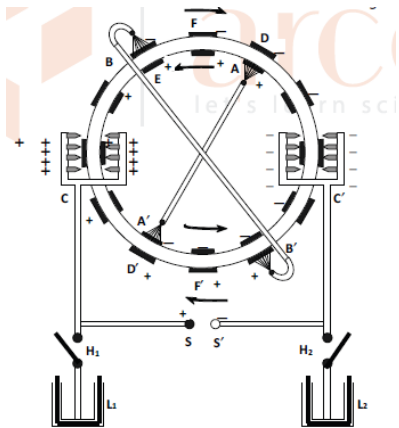
The same is achieved in wimshurst machine as discussed below.

In a wimshurst machine two sets of conductors are used, which rotate in opposite direction with respect to each other. The electrical charge on one set of conductors is used to produce electrical charge on the other set of conductors. The schematic representation of Wimshurst electrostatic generator is shown in the figure 1.

A pair of circular acrylic plates (P and Q) both of same diameter, is mounted co-axially parallel to each other. These plates rotate in opposite directions with respect to each other about horizontal axis with the help of belt and pulley arrangement. The shaft on which, acrylic plates are mounted also has a pair of two small pulleys on its either side which are driven through a pair of driving pulleys located exactly below the smaller pulleys. The shaft of bigger pulleys has a handle for rotating pulleys. A continuous rubber belt connects the two bigger pulleys to the respective smaller pulleys, with one belt having twist, so that on rotating the handle, rotation of one plate is in the direction opposite to the other. An equal number of metal foil strips are cemented radially and symmetrically along the rim of both the plates

on their outer surface. It is very important that the number of metal foil strips pasted on each plates on their outer surface. It is very important that the number of metal foil strips pasted on each plate must be multiple of 3 and at the same time, must also be equal.

In the figure 1, plates have been depicted in the form of two concentric circles along with the other connections and the metal foil sectors have been shown as small black rectangles.



Two U-shaped metal wires (C and C') with brushes at both the U-ends are mounted horizontally at each end of the plates, diametrically opposite one another in such a way that they continuously rub against the metal foil sectors mounted on both the plates, when these plates rotate in either direction. The metal wires collect the charge on the metal foil sectors and transfer to the ball end electrodes (s and S). Both the ball end electrodes are insulated from each other and the accumulated charge can be discharged through an electric spark between them. Both the electrodes

are adjustable and distance between these two can also be altered by moving either of them through the insulated handle provided. The discharge between two electrodes depends on the electric potential build-up between the two electrodes and the radial separation between the two spheres.

Facing both the plates and on either side of the Wimshurst plates, two insulated metal rods terminating in metal wire brushes, and inclined at about right angles with respect to each other are mounted on the axle of rotation of each plate. Both these insulated rods make an angle of about 45 to the horizontal and function as neutralizing brushes by distributing the charges to the metal foil sectors on rotating plates. On the wooden base of the machine, two Leyden jar capacitors are mounted upright position, and each Leyden jar is connected to one of the discharge electrodes through a pair of metallic levers having insulated handles. This is achieved by bringing the metallic levers in contact with the shaft of discharge electrodes.

The Leyden jar capacitors consist of small plastic cup sandwiched between two aluminium cups height of both the aluminium cups is smaller than that of plastic cup but is approximately equal to each other. On the outer surface of outer aluminum cup, protective insulated sheet is pasted that minimizes the leakage of charge and provides insulation. These Leyden jars are capable of storing electric charge up to high potential with minimal losses and without electrical breakdown. All the positive contacts between Leyden jar capacitors, discharge terminals, insulated handle etc...are through a thick transparent acrylic sheet which supports axle of acrylic plates, shafts of discharge electrodes and insulated handles about which they are rotated and Leyden jar capacitors. It also provides good electrical insulation between each of these components even at high electric potential.

### **Operating principle**

Let the machine be operated such that the front plate rotates anticlockwise, while the other plate rotates in clockwise direction. Let us assume that one end of the metal foil sector possesses a slight charge, which is usually the case and is necessary as well as sufficient to start the working of machine. Suppose the metal sector F has a slight negative charge and both the plates are rotated.

When F is in position D, the presence of negative charge in this metal sector will induce a positive charge on the metal sector on the other plate, just opposite it, which is in contact with the end A of the neutralizing rod. The neutralizing rod, in turn, induces a negative charge on the metal sector in contact with the brush at its other end A. since the plate is in continuous rotation, contact between the two sectors at A and A through the neutralizing rod breaks thereby, retaining the electrical charges induced in them. When the sector which was A, reaches E, it induces negative charge on the sector in contact with B. this in turn induces positive charge on the sector in contact with the end B of the other neutralizing rod. The negative induced charge on the B move clockwise and reaches the position D, thereby repeating the procedure with the rotation of discs. Since, these sectors are continuously in rotation, they periodically, also rub against the combs C and C, thereby transferring all the charge to them. As a result, negative charge at D is lost at C, while the positive charge at D is lost at C. in the similar way, since inner plate is rotating in opposite direction, the positive charge at A is lost to C whereas, the negative charge at A to C. this makes C positively charged and C negatively charged. This continues and accordingly, all metal sectors of both the plates get charged since different sector combinations are formed involving each and every sector on the two plates, owing to their continuous rotation and getting charged by the

process of induction, as discussed above. Gradually all the sectors on the upper half of inner plate acquires positive charge and that of outer plate acquires negative charge. Similarly, all the sectors on the lower half of inner plate acquire negative charge and that of outer plate acquires positive charge. As is evident, at any given instant of time, one half of any plate and opposite half of the other plate are similarly charged.

Consequently a series of positive charges is received at C and a series of negative charges at C. when a positively charged sector enters the comb C, it induces a negative charge on the comb. This negative induced charge on the comb is soon discharged from the point and neutralizes the sector and charge is conducted to the discharge sphere electrode S. on leaving the comb, each sector becomes uncharged and remains so, until charged again by the inductive action as discussed above. In the similar way, negative charge is collected by com C and communicated to the discharge electrode S.

When the discharge electrodes are in contact with Leyden jar capacitors, charges get stored in them until sufficient potential difference develops across the two discharge electrodes and discharge takes place in the form of electric spark jumping from one discharge electrode to other. Each rotation of the two discs causes larger charges to be induced on the sectors, because increase in the charge on electrodes causes the induced charge in the sectors to increase. Therefore the charge on electrodes causes the induced charge in the sectors to increase. Therefore, the charge builds up exponentially until the rate at which charge is being deposited on the Leyden jar capacitors is equal to the rate at which charge leaks off the capacitors and discharge electrodes.



The Leyden jar capacitors, when connected, increases the capacity of discharge electrodes so that the larger quantity of charge can accumulate on the spheres resulting in build up of larger electric potentials without any electrical breakdown. Hence with Leyden jar capacitors not connected to the discharge electrodes, sparking produced will be more frequent but less intense. With the Leyden jars connected, frequency of sparking decreases but the intensity of spark increases.

The energy of the charges produced and stored in the discharge electrodes in the form of high electric potential and subsequently leading to the spark formation through air, is derived from the mechanical work done in moving the oppositely charged vectors away from each other. More work has to be done in rotating the plates when they are charged as compared to when they are uncharged, it increases with the accumulation of charges. The excess of work done is transformed into electrical energy.

The distance between spheres of two discharge electrodes over which spark will jump, depends on the ambience conditions and the diameter of two spheres. It also gives a close approximation of the electric potential between the two spheres. The following table shows the gap between two identical spheres of varying diameters corresponding to different values of electric potential between them for electrical breakdown.

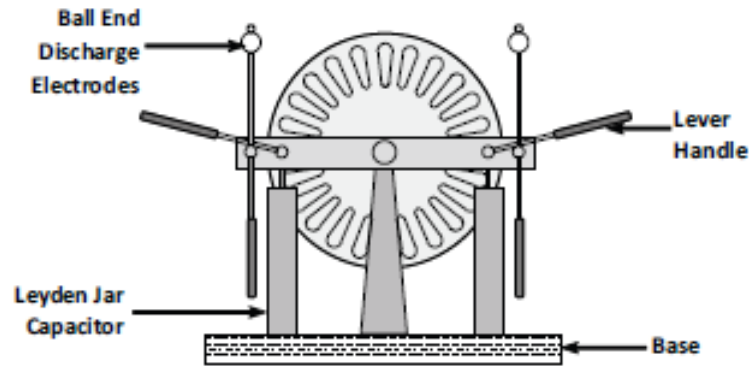
Minimum separation in cm between two identical spheres of different diameters for different values of electric potential without electrical breakdown.

Electric Potential (kV)	Sphere Diameters (in cm)				
	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
20	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
30	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
40	1.40	1.32	1.30	1.30	1.30
50	2.00	1.82	1.73	1.71	1.65
60	2.81	2.40	2.21	2.16	2.02
70	4.05	3.16	2.80	2.68	2.41
80	-	4.40	3.50	3.26	2.82
90	-	-	4.40	3.93	3.28
100	-	-	-	4.76	3.75

#### Operating the wimshurst electrostatic generator

This machine is ready for use except for the crank handle. Before operation, screw this handle on to the central axle of the lower plastic pulleys and

follow the procedure given below.



1. Position the spheres of both the discharge electrodes symmetrically near the center of plate, so that they are about 25mm apart.
2. Adjust both the I-shaped wire brushes or neutralizing rods on either side of plates such that they make an angle of about 45 with the horizontal and are almost mutually perpendicular to each other. Also, ensure that the metal sectors by rotating the plates slowly.
3. Adjust both the lever handles so that they are about 10mm apart from the respective shafts of discharge electrodes. In this case, there will be no direct electrical contact of discharge electrodes with Leyden jar capacitors. On rotating the plates for few seconds using handle you will observe a crackling sound due to the transfer of charge Leyden jar to the shafts of respective discharge electrode.

4. Move both the lever handles so as to touch the respective shafts of discharge electrodes in order to bring Leyden jar capacitors in direct electrical contact with the discharge electrodes. Rotate the plates by rotating handle speedily. You will observe a crackling sound along with the spark jump from one discharge electrode to the other. On continuous rotation of the plates, this spark formation will be observed at fairly regular time interval. This is due to the continuous charging Leyden jar capacitors with the charges opposite to each other and very high electric potential builds up between the two discharge electrodes resulting in the breakdown of air between the electrodes and subsequent discharge through spark formation.

The spark formation indicates the working of Wimshurst electrostatic generator. If the generator does not work, follow the precautions enumerated at the end.

## DIFFERENT EXPERIMENTS AND DEMONSTRATIONS USING WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE

### Experiment 1: measurement of electric potential between the two discharge sphere electrodes

1. Operate the Wimshurst electrostatic generator as discussed above with the distance between both the discharge electrodes to be about 100mm.
2. Gradually increase the distance between the two electrodes using insulated handles and observe the formation of spark between the two.

- Note the maximum separation between the two beyond which no spark formation takes place. This distance gives close approximation of electric potential between the two electrodes, as described below.

Electric potential ( in volts)= 30,000 length of spark gap in cm

Electric potential of about 30,000V is required to make the spark jump across a distance of about 1 cm refer table 1, in dry air. In case of humid air, this value decreases depending on the value of absolute humidity of air, since water being conductor of electricity leads to electrical breakdown of air more easily. The machine can easily produce spark lengths of 3-4cm.

### **Experiment 2 : estimation of electrical energy generated by wimshurst machine.**

The mechanical energy used to operate the machine is converted into electrical energy in the form of electric potential across the two discharge electrodes. When the spark formation takes place, the same energy is used in ionizing the air molecules through which spark formation takes place. This energy is converted in the form of light energy and sound energy of spark. Electric potential can be determined as described in the previous experiment. For determining the current through the electrical discharge, connect a sensitive micro-ammeter across the two discharge electrodes of the machine and ensure that they are distant enough to prevent any spark formation. On operating the machine, note the maximum current that flows through the micro-ammeter at any particular instant of time. A close approximation of the power generated can be made from this.

Power generated in watts= electric potential in volts current in amperes.

From the above value of current, internal resistance or thevenin equivalent resistance can also be estimated.

Resistance  $R_{in}$  Ohms electric= potential in volts/ electric current in amperes.

### **Experiment 3: determination of polarity of electrodes of the Wimshurst machine**

Charge an electroscope through any of the charged discharge electrodes of Wimshurst machine, which can be observed from the diverging of leaves of the electroscope. Rub an ebonite rod with woollen cloth. It will acquire negative charge. On touching the electrode of microscope, if the leaves of electroscope diverge more, it indicates the presence of negative charge on the discharge electrode of the machine. Whereas, the convergence of leaves of electroscope implies the neutralization of charge on them by the negative charge of ebonite rod, thus indicating the presence of positive charge on the discharge electrode. Similarly, nature of charge on the other discharge electrode of the machine can also be determined.

In the similar way, determination of polarity or nature of electric charge on discharge electrodes of the machine can also be made by using glass rubbed with silk cloth (which acquires positive charge and opposite behavior will be observed).

### **Experiment 4: demonstration of electric Wind**

Connect a sharp pointed wire to any of the discharge electrodes of the Wimshurst machine and place a burning candle a short distance away from its pointed end. On operating the machine, it will be observed that the candle flame is deflected as if blown by the draught. This is due to electric

wind streaming away from the pointed end of the wire. The electric wind is produced because of very high charge density at the pointed end, which leads to the ionization of the surrounding air and this air is blown as a result of force of repulsion between similarly charged particles of air.

### **Experiment 5: demonstrating the presence of both negative and positive charges in a flame.**

If, in the previous setup, the burning candle is placed very close to the pointed end of wire and machine is operated, flame is not observed to be deflected as if by draught. In this case, the flame will be observed to be drawn out in both the directions, one towards the flame and other away from the flame.

Here, the charge present in the wire attracts opposite charge and repels similar charge. As a result, in case of positively charged wire, the positive charge of the flame is drawn towards it whereas the negatively charged part of the flame is repelled away from it. Thus, it indicates the presence of both types of electrical charges in a burning flame.

Please note that in the previous setup, burning candle is comparatively away from the end of wire than in this setup and the deflection in flame is not due to repulsion between charged wire and flame but due to draught created by the point actions on ions in the air between wire and flame.

### **Precautions**

1. This machine should not be operated in high humidity.
2. All parts of the machine should be carefully and thoroughly cleaned and dried before use, for best results.

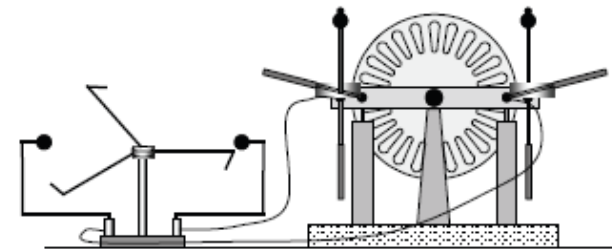
3. Brushes of both, combs and neutralizing rods should be continuously touching the respective plates, when the plates are rotated. If not adjust them accordingly. In case they are worn-out due to regular use, trim their ends slightly to ensure clean metal surface contact.
4. Best results are obtained when the neutralizing rods are at an angle of about 45 to the horizontal and approximately at right angle with respect to each other. If the machine only operates by rotating handle in one direction, this is either due to the improper position of neutralizing rods or because the belts are incorrectly attached.
5. Any physical crack in the Leyden jar capacitors of the machine will result in improper functioning of the machine. They should, therefore, be examined carefully before operating the machine to ensure the conductivity of Leyden jars capacitors.
6. After operation, the machine should be completely discharged by bringing the two discharge sphere electrodes in contact with each other, with the Leyden jar capacitors connected to them through the lever handles.
7. No metal part of the machine is to be touched, when in operation. They should be touched only after it has stopped operating and has been discharged completely. At the same time, safe distance should be maintained from the metal parts to avoid risk of electric shock due to jumping of charge through insulations or air because of high electric potential.

## ADDITIONAL ACCESSORIES FOR WIMSHURST ELECTROSTATIC MACHINE

For operating different accessories with Wimshurst Electrostatic generator, they can be connected to the generator through two 4mm sockets provided at the pivot of ball end electrodes using connecting leads having 4mm banana plugs. When the generator is to be connected to any of the accessories in an external electrical circuit, both the ball ends of discharge electrodes should be sufficiently far away to prevent the discharge through spark formation between them.

1. Electric plume: electric plume is a set of colored ribbons fixed on a small metal rod that can be mounted on top of the insulating stand. Connect it to any of the ball ends electrodes with a connecting lead. When the generator is operated by rotating the handle at a sufficiently high speed, the electric charge is transferred to the plume via connecting lead, the ribbons to the plume also acquire electric charge similar to that of the ball and electrode to which it is connected. Thus the ribbons on the plume will start repelling each other, resulting into the spreading out of the ribbons.
2. Head of hair: head of hair is a bunch of hairs mounted on a small metal rod that can be mounted on top of the insulating stand. Connect it to the generator as in case of electric plume. On operating the generator, hair will be observed to repel each other and stand on its end. This is due to the gradual transfer of electrical charge from generator, which in turn charges the head of hair. Repulsion of like charges in the hair results in their spreading out and stand on its end.

3. Electric whirl: the electric whirl consists of metal spokes arranged in circular fashion mounted on a stand. The spokes of the electric whirl are bent at the end of the form of land their tips are pointed. The electric whirl assembly is mounted on the stand with a pointed spike. The stand has two metal posts that are used to mount two smaller ball electrodes. These electrodes are connected to the ball end electrodes of generator with connecting leads. On operating the generator, the spokes of the wheel start rotating in such a way that the direction of rotation of the spokes is away from the bent pointed ends of the spokes.

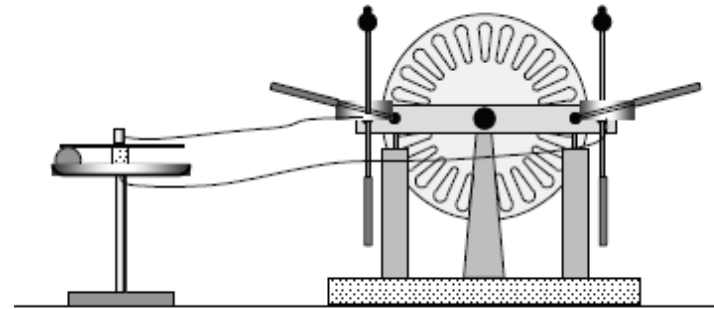


In this case, the transfer of electric charge from generator charges the ball electrodes on the stand, which in turn, ionizes the air. The also charge the bent pointed end of spokes through induction. The bent ends of the spokes being pointed have very high charge concentration. Since, like charges repel each other, a force of repulsion sets up at the tip of the wheel, which results in their rotation. Therefore, the direction of rotation of spokes is away from the pointed ends of the spoke.

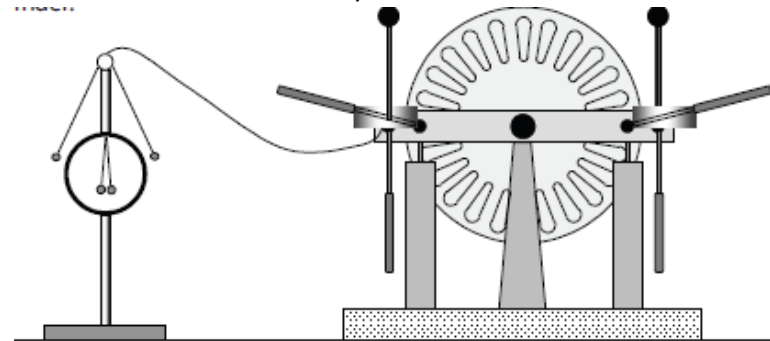
4. Racing ball: in this accessory, an insulating ball is placed between a metallic pan and a metallic disk and has two 4mm sockets for electrical connection, one each at its top and bottom. The

complete assembly is mounted on the insulating stand. Connect one of the ball and terminal to the socket at the top of this accessory and the other electrode to the socket at the bottom of accessory with connecting leads. Make sure that the racing ball assembly is a horizontally level position. On operating the generator, it will be observed that the ball gradually starts rolling and starts moving continuously with higher speed, along the ben trim of the lower pan. A slight push may be required to start the motion of ball.

- Here, the electrical connection between the one of the ball and electrode and the top plate of racing ball assembly makes the plate charged. Let us suppose, the top plate acquires negative charge and lower pan acquires positive charge from generator. This makes the top surface of the ball negatively charged, since it is in continuous contact with the upper plate. Similarly, the lower pan charges bottom surface of the insulating ball with positive charge. As a result the like charges residing on both the upper plate and the top of the ball, and similarly on the lower pan and bottom of the ball start repelling each other, which results in the rolling of the ball. As it rolls the upper negative charged portion of ball comes into contact with the positively charged lower pan and acquires positive charge on losing electrons. Similarly, the lower positively charged portion comes in contact with upper plate where it acquires negative charge by taking electron from the plate. This loss and gain of electron by the upper/lower portion of insulating ball goes on making it roll continuously.



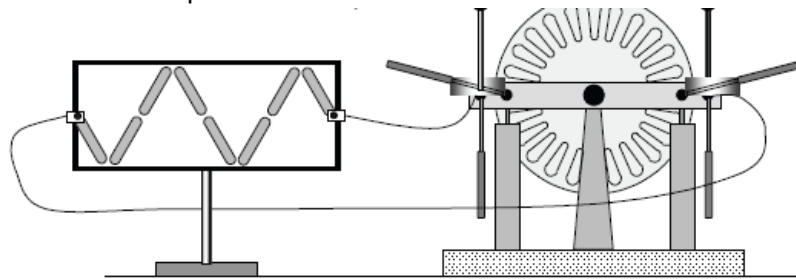
- Hollow cylinder. Hollow cylinder is a metallic cylindrical shell mounted horizontally on the insulating stand. On the top, it has a metal ball mounted on a metallic rod, which is fixed vertically over the hollow cylinder. From the metallic ball are hung four pith balls in such a way that the two are suspended inside the hollow cylinder and two above the outside cylinder.



If the assembly is charged by connecting its top to either of the ball and terminals, it will be observed that the balls inside the hollow cylinder remain unaffected, whereas the one outside are repelled

away from the cylinder. The charge on the outside surface of the hollow cylinder charges the pith balls with the similar charge and hence, are repelled away from each other. Whereas, since there is no charge inside the hollow cylinder, the pith balls inside the cylinder remain unaffected.

7. Lightning plate: lightning plate consists of small metallic leaves spread in zig zag fashion on an insulating plate in such a way that there is a small gap between each leaf placed adjacent to the other. It has two connecting terminals, connected to the two leaves at each end of the plate

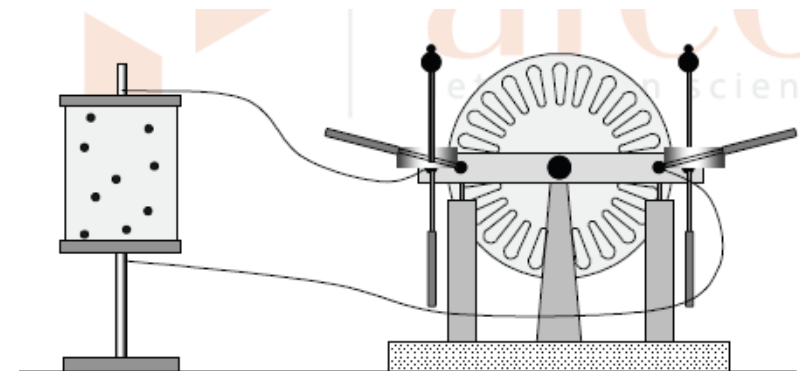


If one end of the plate is connected to one of the ball end electrodes and other end to the other electrode of generator and the generator is operated, sufficient electric potential builds. It results in the production of small arcs across the gaps of the each adjacent leaf. This happens because the flow of electric charge takes place through the shortest possible route with the least resistance. It will also be observed that the intensity of spark is uniform all along the length of the leaves on the lightning plate and is not influenced by the width of the gap between the leaves.

8. Volta's hailstorm: Volta's hailstorm apparatus consists of a transparent non-conductive cylinder. Both the ends of cylinder are

covered with a metal cap, which can be easily fixed or removed using threads provided. The apparatus can be mounted on insulating stand and has got 4mm socket at its top and bottom for electrical connection.

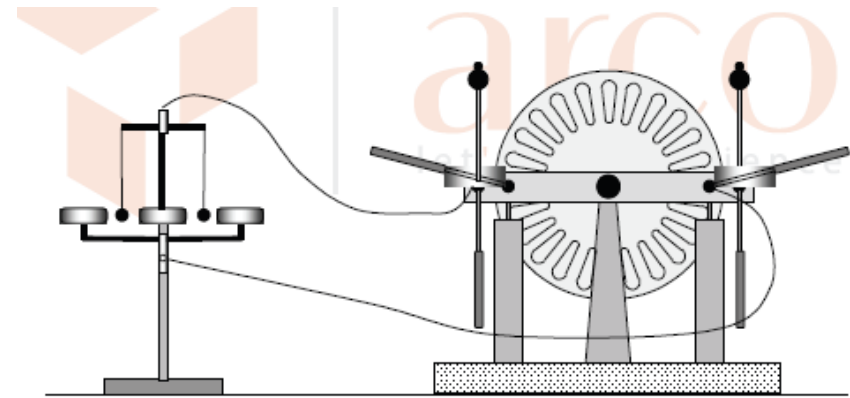
For the demonstration of Volta's hailstorm put pith balls inside the transparent cylinder such that they cover only the surface of the caps and are not stacked on top of each other. Mount it on the insulating stand and connect bottom and top of the apparatus to the ball and electrodes using connecting leads. On operating the generator, the pith balls will be observed to dance up and down rapidly in a random fashion giving an impression of a hail storm.



In this case the electric charge on the ball and electrodes charges the respective caps of apparatus to which, they are connected. Let us assume that the lower cap gets negatively charged and the upper one gets positively charged. This results in the accumulation of negative charge on pith balls. The repulsion between like charges and attraction due to positive charge on the upper cap makes the pith balls to rise to

the top, where the pith balls lose the excess electrons through upper cap and falls back. This process is repeated again and again leading to the bouncing of pith balls, randomly.

9. Neon bulb: when a neon bulb, mounted on insulating rod, is gradually brought closer to the charged ball and electrodes of the generator, it will be observed to glow. This is on account of the small current passing through the air ionized in the vicinity of electrodes, which in turn, is received by the neon bulb.
10. Electric bell: electric bell consists of three metal gongs arranged parallel to each other with two small metal bobs suspended by insulating threads between them. The left and right metal gongs are connected to the conducting metal rod with the help of thick metal wire, and the middle gong is mounted on insulated rod above conducting metal rod so that it does not get the same charge as that on other two gongs. The middle gong carries a thick metal wire at its center, which has two conducting arms at its top through which metal bobs are suspended. At the top it has a provision for electrical connection through which, both the balls and middle gong can be charged with the opposite charge as that on the left/right gongs. This complete assembly can be mounted on insulating stand for demonstration.



Connect the top and the bottom of apparatus with the two ball-end electrodes with connecting leads. On operating the generator, both the metal bobs will start oscillating between metal gongs and in the process strike them to produce the ringing of bells.

In this case, the electric charge on ball end electrodes charges the top and bottom of apparatus to which they are connected. The lower connections charges left and right metal gong with similar charge, whereas connection at the top charges middle gong with opposite charge. Let us assume that the middle gong gets negatively charged and the other two gongs get positively charged. The two metal bobs also acquire negative charge by induction.

As a result the bobs are repelled by the middle gong and are attracted by right/ left gong where they strike the gong and loose the electrons and return back to strike middle gong. This process continues to provide ringing of bell.



11. Rotating cylinder: it consists of a transparent plastic cylinder with a plastic cap at the top. The plastic cap has metal piece with a pointed hole mounted at its center. The cylinder is mounted on spike of electric whirl stand after removing whirl and small ball electrodes and is free to rotate along vertical axis.

Operate the Wimshurst electrostatic generator to obtain sufficient discharge through its ball end electrodes. Move the ball end electrodes a little apart from this position so that there is no longer any discharge. On bringing the cylinder mounted on pointed spike of electric whirl stand near the region between two ball end electrodes, cylinder will start rotating.

Here the charge in ball end electrodes ionizes the air. On bringing rotating cylinder near ball and electrodes, the portion of cylinder nearest to an electrode gets charged due to induction with the similar kind of charge. As a result, it experiences repulsion and moves to bring other portion of the cylinder near it and in the process loses its charge. This process continues resulting in the rotation of cylinder.