

# 10 Experimentos Científicos más Bellos de la Historia

Manuel Figueroa, *Estudiante, ITCR*, Esteban Leandro, *Estudiante, ITCR*

MC-7201 *Introducción a la Investigación*

*Instituto Tecnológico de Costa Rica*

{mfigueroacr, elc790}@gmail.com

**Index Terms**— $\text{\LaTeX}$ , Introducción a la investigación, Tarea Corta, Experimentos, Historia.

## I. ERATÓSTENES Y LA CIRCUNFERENCIA DE LA TIERRA



Figura 1. Eratóstenes. Una pintura de Bernardo Strozzi Tomado de Google Imágenes

### I-A. Contexto Histórico

Eratóstenes fue un académico de la antigua Grecia (276 a.C - 195 a.C) conocido por realizar la primera medición conocida de la Tierra. Eratóstenes parte de la suposición griega de que la tierra es esférica, y que en comparación con otros cuerpos celestes, esta era diminuta. Esto se explica en la obra *Acerca del cielo*, de Aristóteles y escrita un siglo antes de Eratóstenes. Entre los argumentos lógicos de la obra se mencionan entre otros hechos que los viajeros ven estrellas distintas si viajan al norte o al sur y que algunas estrellas visibles en lugares como Egipto o Chipre no son visibles en lugares más septentrionales. Eratóstenes nació al norte de África, y se educó en Atenas, fue un pensador influyente en muchas áreas y escribió *Geographica*, una obra de geografía conocida por ser la primera en utilizar el sistema de paralelos y meridianos conocido en la actualidad.

### I-B. El experimento

Eratóstenes buscaba obtener una medición más precisa y verificar o desmentir estimaciones anteriores del tamaño real de la Tierra. Aristóteles calculaba este tamaño en 400.000 estadios que es aproximadamente unos 64.000 kilómetros, algo lejos del valor real del diámetro de la Tierra (40.000

Km) Eratóstenes asumió que si la tierra era de hecho un cuerpo pequeño y esférico, entonces otros cuerpos como el Sol deberían de encontrarse muy lejos de manera que sus rayos deberían ser prácticamente paralelos en todos los puntos de la Tierra.

Utilizando este hecho como base de su experimento y conociendo por relatos que en la ciudad de Siena (Asuán, Egipto) durante el solsticio de verano el sol del mediodía se ubicaba justo por encima de la cabeza. De este modo no se proyectaba ninguna sombra en un objeto vertical.

Al mismo tiempo en Alejandría, ciudad ubicada al norte de Siena, se conocía que nunca se podía observar al sol directamente sobre la cabeza, razón por la cuál los objetos verticales siempre proyectaban una sombra.

Este hecho, sirvió a Eratóstenes para realizar los cálculos de medición de la circunferencia de la tierra con gran precisión. La simplicidad del experimento permite determinar dimensiones cósmicas midiendo unicamente la longitud de la sombra proyectada por un reloj solar en Alejandría, mientras que en Siena ocurría el solsticio y no se proyectaba sombra.

De manera similar al siguiente gráfico:

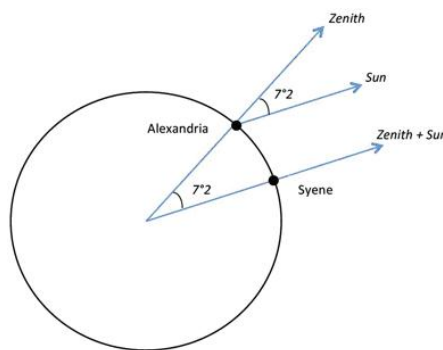


Figura 2. Cálculo realizado por Eratóstenes. Tomado de Google Imágenes

De acuerdo a la geometría Euclídea, los ángulos interiores de una línea que interseca dos líneas paralelas son iguales, por lo tanto el ángulo formado por el Zenith y el Sol, es igual al formado por los radios desde el centro de la tierra a Siena y Alejandría.

Esto le sirvió para determinar la fracción de la circunferencia representada por la distancia ya conocida entre Siena y Alejandría que había sido determinada por los topógrafos reales del gobierno Egipcio, con esto logró determinar el tamaño de la circunferencia de la Tierra en unos 252 000 estadios, lo que es aproximadamente 40.200 Km una cifra bastante cercana a la aceptada en la actualidad de 40.075Km [1]

## II. HERSHEY - CHASE: FUNCIÓN GENÉTICA DEL ADN

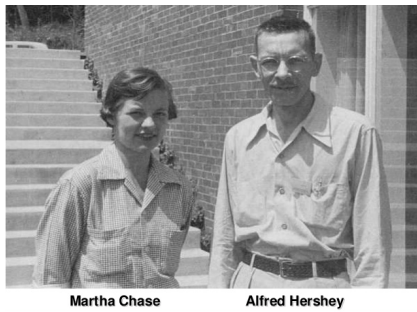


Figura 3. Alfred Hershey y Martha Chase Tomado de Google Imágenes

### II-A. Contexto Histórico

A principios del siglo XX se aceptaba que el material genético de las células era formado por proteínas. Esto principalmente a que se conocía que la estructura del ADN, por las investigaciones de Phoebus Levene en 1933, consistía de cuatro elementos llamados nucleótidos. Debido a esta limitación en la cantidad de bloques que formaban las estructuras de ADN se consideraba imposible que este sirviese como mecanismo para transferir información genética, como el color de piel, ojos, entre otros. Las proteínas, elementos también presentes en las células ofrecían un mayor factor de diversidad y podían combinarse de muchas más maneras. Por esta razón se creía que eran estas las encargadas de transmitir las características en cada generación.

En 1935, Oswald Avery realizó una serie de experimentos que mostraron que el ADN facilitaba un fenómeno genético en las bacterias, pudiendo demostrar que el factor de herencia que causaba transformaciones en las bacterias contenía ADN. Sin embargo, no se pudo descartar que otros componentes sin ADN estuviesen involucrados en dicha transformación. Por esta razón, muchos científicos seguían considerando a las proteínas como las encargadas de transmitir la herencia genética de las células.

### II-B. El experimento

En 1951, los científicos Alfred Hershey y Martha Chase iniciaron una serie de experimentos con el objetivo de desacreditar las afirmaciones de Avery. En sus experimentos se analizó como los bacteriófagos infectaban las bacterias. Descubrieron que cuando un fago infecta a una bacteria, inicialmente se pega al exterior de la bacteria y después inserta parte de su

contenido al interior de la bacteria, lo que le permite replicarse dentro de la misma y generar nuevos bacteriófagos que invadan a las células cercanas.

La técnica utilizada por Hershey y Chase consistía en usar etiquetas de isótopos radiactivos. Los elementos químicos pueden existir en diferentes formas estructurales denominadas isótopos, que pueden tener diferentes niveles de radiactividad que pueden ser detectados por los científicos y de esta manera determinar si las partes etiquetadas fueron transmitidas de los fagos a las bacterias.

Etiquetando la parte de proteínas del bacteriófago con isótopos de azufre y el ADN con fósforo radiactivo, y utilizando una licuadora común, descubrieron que las proteínas permitían al fago pegarse a la membrana superficial de la bacteria y lo que se inyectaba dentro del interior de la bacteria era de hecho el ADN del bacteriófago, y por lo tanto lo que permitía la replicación de nuevos bacteriófagos en el interior de la bacteria infectada.

Los resultados de medir la mezcla descubrieron que al licuar las bacterias infectadas se removía hasta el 80 % de las proteínas marcas y solamente cerca del 40 % del ADN marcado indicando que el material restante se había incorporado al interior de las células.

Con este experimento demostraron que Avery estaba en lo correcto y que el componente de la herencia genética es en realidad el ADN y no las proteínas como se creía.

Por esta serie de experimentos Hershey recibe el premio Nobel en 1969. [2]

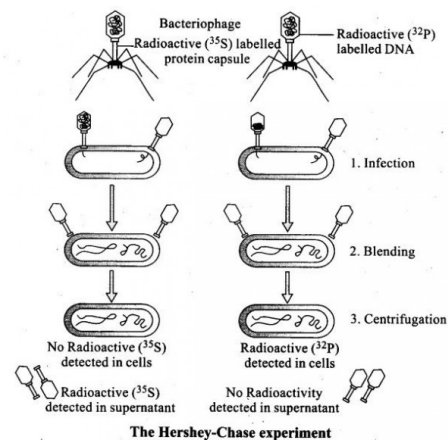


Figura 4. Experimento Hershey-Chase. Tomado de Google Imágenes

## III. LUIGI GALVANI: ELECTRICIDAD ANIMAL

### III-A. Contexto Histórico

A mediados del siglo XVIII, la electricidad era un tema importante y que acaparaba la atención de muchos científicos de la época, debatiendo si la electricidad era un vapor, un fluido o como Benjamín Franklin especulaba una serie de partículas.



Figura 5. Luigi Galvani. Tomado de Google Imágenes

En Abril de 1786, Luigi Galvani un profesor de anatomía, estuvo experimentando con la estimulación de los nervios de las ranas mediante el uso de electricidad usando un generador o aplicando descargas desde una botella de Leyden.

### III-B. El experimento

Luigi Galvani creía que los movimientos musculares eran causados por una electricidad natural producida por los seres vivos y que aplicar electricidad de origen artificial tenía el mismo efecto.

Galvani tomó varias ranas y verificó que al cerrar un circuito conectando el nervio con el músculo utilizando algún conductor se producía una reacción que hacía que las patas de las ranas se movieran y sin ninguna fuente externa de energía era fácil pensar que la electricidad estaba almacenada en el interior del animal.

En 1791, publicó sus hallazgos en *Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion*, donde efectivamente Galvani proponía que los músculos de las ranas funcionaban como una botella de Leyden, almacenando y liberando algún tipo de electricidad orgánica.

Uno de los grandes detractores de esta teoría fue Alessandro Volta, físico y químico Italiano. Volta aseguraba que el efecto de movimiento en los músculos era provocado por la electricidad provocada al utilizar dos metales conductores, lo que denominó electricidad bimetálica.

Galvani refutó estas afirmaciones demostrando que el mismo efecto podría lograrse usando el mismo metal o incluso carbón para realizar la conexión. Volta asumió que esto solamente era efecto de las impurezas del metal que aunque fuesen del mismo tipo igual generan alguna cantidad de electricidad bimetálica.

Finalmente Galvani optó por eliminar los metales y conductores de sus experimentos simplemente haciendolo con sus manos y provocando el mismo efecto, incluso haciendo el contacto directamente entre el nervio y el músculo sin ningún conductor involucrado, probando así que la electricidad no provenía de afuera si no dentro del animal mismo.

Volta y Galvani estaban en lo correcto, la electricidad puede ser producida por la reacción de distintos conductores inventando así las baterías. De igual manera los experimentos de Galvani probaron que en efecto el movimiento muscular es provocado por una reacción electroquímica y no por una éterea fuerza vital. [3]

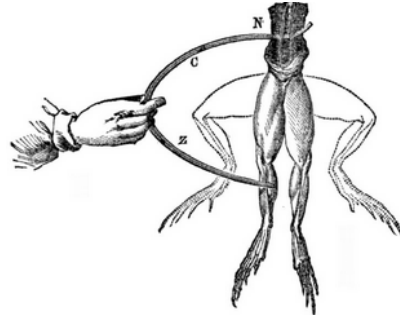


Figura 6. Experimentos de Galvani. Tomado de Google Imágenes

## IV. HENRY CAVENDISH: DENSIDAD DE LA TIERRA



Figura 7. Henry Cavendish. Tomado de Google Imágenes

### IV-A. Contexto Histórico

Henry Cavendish (1731-1810) fue un destacado físico y químico británico, nacido en el Reino de Cerdeña en Francia, y uno de los mayores científicos de la historia. Cavendish tuvo la suerte de obtener una gran herencia que le sirvió para financiar sus experimentos y se le reconoce también el haber determinado la composición química del agua.

### IV-B. El experimento

Uno de los mas famosos experimentos de Cavendish es el cálculo de la densidad terrestre, extraído directamente del interés de Cavendish en la ciencia Newtoniana. Sir Issac Newton

había propuesto que todos los objetos en la Tierra son atraídos por la fuerza de gravedad. Esta fuerza es proporcional al tamaño de la masa de los objetos y a la distancia entre ellos. Básicamente, esto implicaba que entre mayor la masa de un objeto más fuerte la fuerza de atracción de este. Sin embargo, Newton dejó como incógnitas la constante gravitacional y la masa terrestre. El encontrar cualquiera de estos valores permitía descubrir el otro mediante cálculos simples.

Como se conocía que la constante gravitacional es la misma para todos los objetos, el método más lógico de resolver la incógnita es midiendo la fuerza de atracción gravitacional entre dos objetos de masa conocida. Suena sencillo en teoría pero en la práctica los objetos de masa conocida son muy pequeños para que exista una fuerza de atracción gravitacional medible.

En la década de 1798 mediante el experimento de Cavendish, utilizando una balanza de torsión, se obtuvo la primera medida de la constante gravitacional de la Tierra, y consecuentemente la densidad del planeta Tierra con una precisión asombrosa para la época. El aparato construido por Cavendish, y colocado en un ambiente que eliminaba variables externas como el viento y la temperatura podía calcular la fuerza de atracción ejercida sobre dos bolas de plomo de igual masa, con un gran grado de exactitud.

Utilizando este equipo Cavendish determinó que la densidad promedio terrestre era de aproximadamente 5,5 veces la del agua y estimó la masa terrestre en  $6,6 \times 10^{21}$  toneladas muy cercano al valor aceptado en la actualidad de  $5,97 \times 10^{24}$  kilogramos. [4]

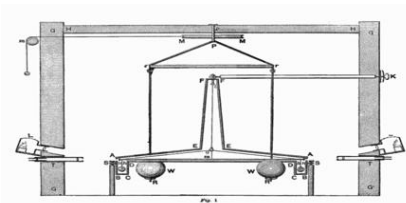


Figura 8. Balanza de torsión de Henry Cavendish. Tomado de Google Imágenes

## V. THOMAS YOUNG: LA NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

### V-A. Contexto Histórico

Thomas Young nació el 13 de junio de 1773 en Milverton, Inglaterra. Fue un niño prodigio, a los dos años ya leía y a los seis había leído dos veces la Biblia de principio a fin. Conocía una docena de lenguas incluidas el latín y el griego antiguo. Estudió Medicina, sin mucho éxito como médico, parte debido a su poca habilidad para reconfortar a los pacientes. Con veintiocho años abandonó la práctica médica para unirse a la Royal Institution de Londres.

Fue uno de los primeros en descifrar jeroglíficos egipcios y desempeñó un papel esencial en la decodificación de la piedra de Rosetta. También es célebre por su experimento de

la doble rendija que mostraba la naturaleza ondulatoria de la luz.

Young estudió la visión y el ojo humano, propuso la teoría tricromática de la visión confirmada ciento cincuenta años después. Investigó sobre el sonido, la audición y la voz humana y fue entonces cuando se preguntó si el sonido y la luz no tendrían la misma naturaleza ondulatoria.



Figura 9. Thomas Young Davis. Tomado de Google Imágenes

### V-B. El experimento

Su contribución fundamental al campo de la luz es el experimento de la doble rendija, considerado no sólo como uno de los experimentos más bellos de la física, sino también el experimento favorito con luz. Con este experimento Young desafió las teorías de Isaac Newton y demostró que la luz es una onda, que probaba que la luz sufre el fenómeno de las interferencias que es propio de las ondas. Entre 1801 y 1803 presentó una serie de conferencias en la Royal Society subrayando la teoría ondulatoria de la luz y añadiendo a la misma un nuevo concepto fundamental, el principio de interferencia.

El experimento de la doble rendija es simple y permitió a Thomas Young demostrar de forma convincente y por primera vez la naturaleza ondulatoria de la luz. Cuando las ondas provenientes de dos rendijas estrechas se superponen sobre una pantalla colocada a cierta distancia paralela a la línea que conecta estas rendijas, aparece en la pantalla un patrón de franjas claras y oscuras espaciadas regularmente (patrón de interferencia).

Esta es la primera prueba clara de que la luz más luz puede dar lugar a oscuridad. En la interferencia tiene lugar una redistribución espacial de la intensidad luminosa sin que se viole la conservación de la energía.

Este fenómeno se conoce como interferencia y con este experimento se corroboraron las ideas intuitivas de Huygens respecto al carácter ondulatorio de la luz. Thomas Young esperaba este resultado pues creía firmemente en la teoría ondulatoria de la luz y su juicio éste había sido el más importante de sus muchos logros científicos.



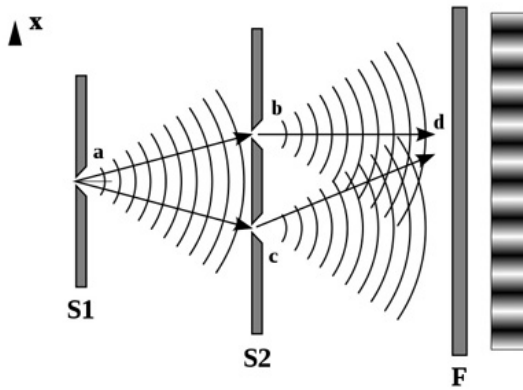


Figura 10. Ondas de Luz. Tomado de Google Imágenes

El 12 de noviembre 1801 presentó ante la Royal Society la Bakerian Lecture titulada "On the Theory of Light and Colours" (Sobre la Teoría de la Luz y los Colores) y el 24 de noviembre de 1803 también la Bakerian Lecture "Experiments and Calculations relative to Physical Optics" (Experimentos y cálculos relativos a la óptica física).

En esta última presentaba la demostración experimental de la ley general de la interferencia de la luz y una inferencia argumentativa sobre la naturaleza de la luz, concluyendo que la luz era una onda. Como todas las ondas conocidas necesitaban un medio material para su propagación, como sucede con las ondas sonoras o las ondas en el agua.

Young consideró que la luz se propagaba en un medio, el éter luminífero, concluyendo que «A luminiferous Ether pervades de Universe, rare and elastic in high degree» (Un éter luminífero impregna todo el Universo, raro y elástico en alto grado) y afirmó de forma contundente que «Radiant light consists in Undulations of the luminiferous Ether» (la luz radiante consiste en ondulaciones del éter luminífero).

Asimismo señaló que la sensación de los diferentes colores depende de la distinta frecuencia de las vibraciones de la luz que excita la retina.

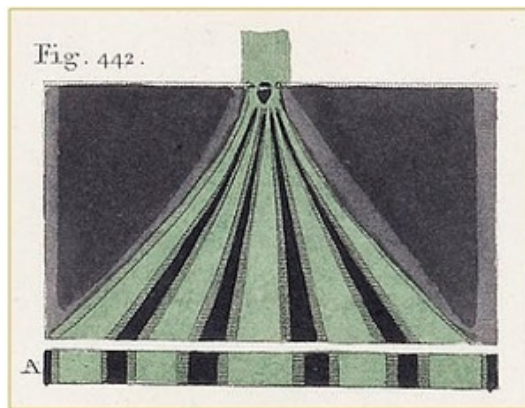


Figura 11. Diagrama interferencial observado por Young. Tomado de Google Imágenes

El experimento de las dos rendijas pone de manifiesto el proceso de interferencia óptica, nombre con que Thomas Young designó los procesos constructivos y destructivos de la composición de ondas y con el que también es conocido desde entonces.

En el año 1803 casi nadie aceptó de forma inmediata las ideas de Young sobre la naturaleza de la luz. Young publicó en 1807 su magnus opus, "A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts", consistente en dos volúmenes con más de mil quinientas páginas y que fue descrito por el físico Joseph Larmor (1857-1942) como el más grande y el más original de todos los cursos publicados.

Gracias a las contribuciones realizadas por Augustin Fresnel, la teoría ondulatoria de la luz –que Young demostró en su famoso experimento– fue finalmente aceptada.

## VI. JEAN LÉON FOUCAULT: PÉNDULO DE FOUCAULT

### VI-A. Contexto Histórico

Jean Léon Foucault nació en Francia el 18 de septiembre de 1819. Considerado como el fundador de la moderna técnica de construcción de los grandes telescopios, trabajó en la determinación de la velocidad de la luz. Obtuvo importantes distinciones y condecoraciones en el campo de la investigación científica. Fue un físico destacado, entre otras cosas, por su famoso péndulo.

Su experimento más famoso empezó en 1850, cuando observó que un péndulo permanecía oscilando en el mismo plano mientras se hacía rotar el aparato. Foucault usó entonces el péndulo para demostrar la rotación de la Tierra.



Figura 12. Jean Léon Foucault. Tomado de Google Imágenes

Un péndulo es algo que cuelga de un punto fijo, que cuando se suelta gira hacia abajo por la fuerza de gravedad, y luego hacia arriba por la inercia. La gravedad es una fuerza que atrae los objetos hacia el suelo, mientras que la inercia es la tendencia de un cuerpo en movimiento para continuar su movimiento a menos que actúe sobre él otra fuerza.

Los péndulos son muy útiles para la ciencia, ya que sirven no sólo para medir la rotación de la Tierra, sino también para medir la aceleración debido a la gravedad, algo importante para determinar la forma de la Tierra y la distribución de los materiales dentro de ella.

#### VI-B. El experimento

Enunció una ecuación en la que se relacionaba el período de rotación del plano con la latitud de la Tierra, en una exhibición pública, suspendió una esfera de hierro de 28 kilogramos de un cable de acero de 67 metros, desde la cúpula del Panteón en París, cuyo comportamiento vino a corroborar sus cálculos.

Si se observa un péndulo, de pie y fijo a la Tierra, luego de este realizar varias oscilaciones se verá un pequeño desplazamiento del punto donde el péndulo alcanza su máxima apertura, se observará un pequeño giro del plano de oscilación del péndulo.

Si nuestro planeta Tierra estuviera inmóvil en el espacio, se podría observar que el plano de oscilación del péndulo no cambia. Esta es la argumentación que usó Foucault para mostrar que su experimento finalmente demostraba la rotación de la Tierra.

Considerando primero un péndulo oscilando justo en el polo Norte. Dado que el eje de rotación de la Tierra pasa por los polos, el piso rota en sentido antihorario, con respecto a las estrellas lejanas. Como el plano de oscilación del péndulo no cambia con respecto a esas estrellas, un observador fijo al suelo, verá el plano de oscilación del péndulo dar una vuelta completa en el sentido horario en ese mismo tiempo.

Por su parte, el observador fijo a la Tierra, en el polo Sur, observará que el plano de oscilación del péndulo dará una vuelta completa en el mismo tiempo pero en sentido antihorario.



Figura 13. Péndulo de Foucault. Tomado de Google Imágenes

¿Qué sucede si se realiza el experimento justo en un punto de la línea del Ecuador?

A diferencia, de lo que ocurre en los polos, en el Ecuador el eje de rotación de la Tierra es paralelo al suelo y por lo tanto el suelo no gira con respecto al eje. De esta manera el

observador fijo al suelo ve al péndulo oscilar siempre en el mismo plano. Usando un péndulo sobre la Línea del Ecuador no se puede detectar la rotación de la Tierra.

Ahora considerando un lugar entre el polo Sur y el Ecuador, por ejemplo alguna ubicación en Argentina. La base del péndulo, en el suelo, no es paralela ni perpendicular al eje de rotación de la Tierra, por lo tanto el suelo rotará, pero de manera más lenta que en los polos. Así, el observador fijo en la Tierra verá que el plano de oscilación del péndulo gira en sentido antihorario (porque está en el hemisferio Sur), pero tardará más tiempo en dar una vuelta completa.

La descripción matemática del movimiento del péndulo en cualquier latitud es un tanto compleja. Con ella se encuentra la fórmula que determina el tiempo (en horas) que tarda el péndulo en efectuar un giro completo. Esta es:

$$T = 24 / \sin(A), \quad (1)$$

en que A es la latitud donde se encuentra el péndulo. Para la latitud de Valdivia, T resulta ser aproximadamente 36 horas, de manera que el plano de oscilación gira unos 10 grados por hora.

### VII. EXPERIMENTO 8

#### VII-A. Contexto Histórico

#### VII-B. El experimento

### VIII. EXPERIMENTO 9

#### VIII-A. Contexto Histórico

#### VIII-B. El experimento

### IX. EXPERIMENTO 10

#### IX-A. Contexto Histórico

#### IX-B. El experimento

#### REFERENCIAS

- [1] R.P. Crease, *The prism and the pendulum the ten most beautiful experiments in science*. Random House, 2014.
- [2] V.Hernández, "The embryo project encyclopedia," Jun 2019. [Online]. Available: <https://embryo.asu.edu/pages/hershey-chase-experiments-1952-alfred-hershey-and-martha-chase>
- [3] G.Johnson, *The ten most beautiful experiments*. Vintage Books, 2014.
- [4] J.Shectman, *Groundbreaking scientific experiments, inventions, and discoveries of the 18th century*. Greenwood Press, 2003.