

Interacción gravitatoria: La ley de la Gravitación Universal



INSTITUTO de ENSEÑANZAS a DISTANCIA de ANDALUCÍA

2º de Bachillerato

Física

Contenidos

**Interacción gravitatoria:
La ley de la Gravitación Universal**

1. Introducción: Los misterios del universo

El siguiente vídeo, aunque es un poco extenso, puede mostrarte cómo es el Universo y plantearte interrogantes sobre el mismo.

Redes 123: Los misterios del universo - astronomía



Vídeo de Atrévete a saber alojado en [Youtube](#)

2. Primeras observaciones de los cielos



Imagen de [Ferrari Hammanen](#)
Wikimedia Commons. CC

Mira el vídeo que tienes a tu derecha. Imagínate cómo se sintieron los primeros humanos mirando al cielo y

Astronomía El cielo en movimiento



Vídeo de Vicente Ferrer Martí alojado en [Youtube](#)

descubriendo aquellas luces que no podían interpretar. Poniéndote en esta situación resulta fácil entender que la presencia del Sol, la existencia de la Luna y el movimiento de ambos los atribuyeran a los dioses. Asimismo, los cambios estacionales permitieron ver a las estrellas y constelaciones como divinidades pero, a la vez, sirvieron para conocer las fechas en que debían sembrar o recoger las cosechas.

Evidentemente, la sucesión de las estaciones asombró a los primeros Homo Sapiens por su regularidad. Las primeras cosmogonías (ideas acerca de la estructura del Universo) combinaban sentimientos religiosos, abarcando lo que se conoce por mitología, junto con observaciones en la regularidad de los movimientos celestes.

Constelacion de Orion : Dios Osiris de los E...



Vídeo de ISHTAR delaTIERRA alojado en [Youtube](#)

A continuación tienes otro documental (bastante extenso) que muestra la visión del cosmos de las primeras civilizaciones.

Los primeros judíos y babilonios pensaban que la Tierra era un disco plano. Este planteamiento dominó las ideas del hombre durante muchos siglos (por culpa de la propia visión que se tenía), y sobre éste estaba el firmamento y debajo un abismo. Para los chinos, la Tierra era cuadrada aunque había una semiesfera en la que estaban las estrellas fijas; esta semiesfera giraba alrededor de la Tierra. Para los egipcios, el universo era un cubo con el imperio egipcio en el centro; una serie de montañas sostenían la bóveda celeste y un gran río, el Nilo, mostraban el camino del Sol.

Los primeros filósofos griegos comenzaron a racionalizar sus ideas

cosmogónicas dando la espalda al Olimpo y a los dioses.

Tales de Mileto, en siglo IV a. C., veía la Tierra como un disco flotante sobre el agua y rodeado por la bóveda celeste con las estrellas fijas. **Anaximandro**, en el siglo VI a. C., es el primero en considerar la Tierra como un cuerpo celeste más como los demás. **Pitágoras** y su escuela pensaban que la Tierra era una esfera que giraba con el resto de los cuerpos alrededor de un fuego central. Las distancias entre los cuerpos celestes y este fuego central guardaban una armonía numérica. **Platón**, en el siglo IV a. C., consideró al universo como algo armónico en el que predominaba la forma esférica.

La humanidad ha ido avanzando a pequeños pasos y, desde luego, la aparición de **Aristóteles** (en el siglo IV a. C.) supuso un hecho de enorme importancia (trascendental) en el pensamiento universal.



Aristóteles

Imagen de [Anónimo](#) en INTEF. CC

Importante

Desde los albores de la humanidad nos hemos preguntado cómo es el mundo donde vivimos y hemos intentado explicar los fenómenos que se observan en el cielo. Desde el siglo XVI estas concepciones del mundo se han apoyado en observaciones, hipótesis y teorías. El concepto de universo sigue cambiando hoy en día a medida que los astrónomos van haciendo nuevos descubrimientos y quedan interrogantes que aún no están resueltos.

3. ¿Es el Universo tal y como lo percibimos?



Imagen de Anónimo en INTEF. CC

Imagino que alguna vez has mirado por un retrovisor para determinar la situación del resto de vehículos a tu alrededor. ¿Qué impresión te dan? ¿Son grandes o pequeños? ¿A qué distancia están? Pues si te ha costado trabajo responder a estas preguntas, imagina la dificultad que supone calcular la distancia al Sol o la Luna.

Te propongo que intentes hacer unas medidas interesantes. Debes tener mucho cuidado y no mirar directamente al Sol sin la protección adecuada, pues resulta muy peligroso para tu salud ocular. Para tratar de estimar el tamaño del Sol debes coger una cartulina del tamaño aproximado a un folio y hacer un agujero pequeño, bien definido, en el centro. Se trata de hacer pasar por

el agujero la luz del Sol, por ello, el orificio no debe ser ni muy pequeño (debe dejar pasar la luz), ni muy grande (no debe permitir que la luz se difunda); con un diámetro de entre 2 y 3 cm es suficiente. Coloca a continuación una moneda de un euro sobre una superficie, lo más lisa posible, por ejemplo una mesa o una losa pulida y si puedes, oscura, para ver el contraste. Subiendo y bajando la tarjeta perforada debes tratar de ajustar la imagen del sol para que tenga el mismo diámetro que la moneda. Con una cinta métrica mide la altura a la que se halla la cartulina del suelo cuando la moneda es iluminada totalmente por el Sol. Con la altura medida y el diámetro de la moneda, y teniendo en cuenta conocimientos matemáticos relacionados con las semejanzas de triángulos, puede calcularse el diámetro del Sol.

La distancia entre el Sol y la cartulina y la distancia de ésta a la moneda son proporcionales ya que se forman dos triángulos semejantes con los diámetros del Sol y la moneda. Como se conoce la distancia entre la Tierra y el Sol, la distancia entre cartulina y moneda y el diámetro de la moneda, se puede calcular el diámetro del Sol (d).

$$\frac{D}{d} = \frac{\text{distancia Tierra-Sol}}{\text{longitud medida}}$$

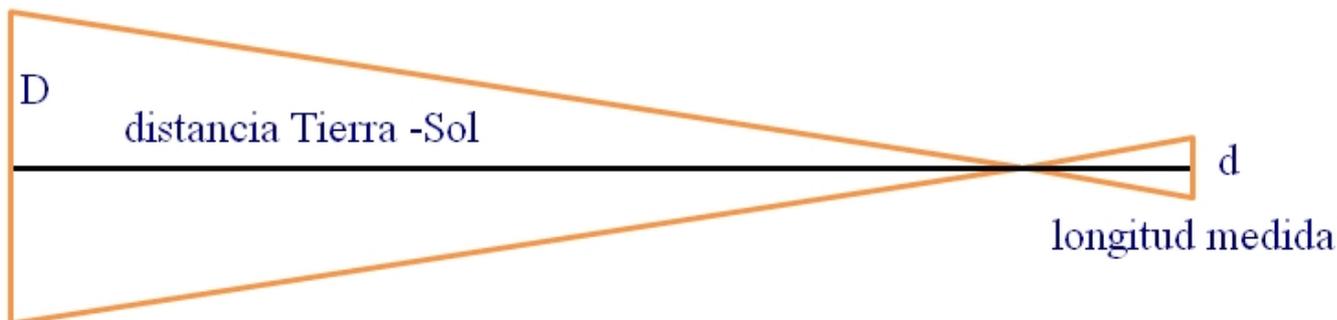


Imagen de FJGARen COMMONS.WIKIMEDIA. CC



3.1 Teorías geocéntricas y heliocéntricas



Imagen de [Clauideoen](#) en Wikimedia Commons. CC

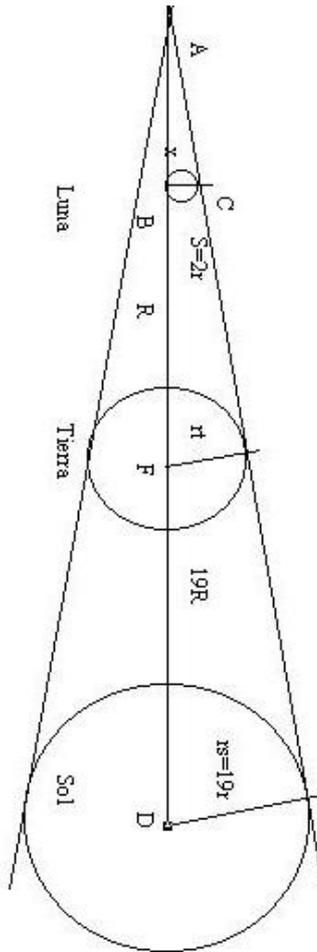


Imagen de [Xgarciaf](#) en Wikimedia Commons. CC

En la Escuela de Alejandría destacó un filósofo de la isla de Samos llamado **Aristarco**, nacido en el año 310 a.C. y fallecido en el 230 a.C. (310-230 a.C). Fue discípulo de Estratón de Lampsacos de la escuela peripatética fundada por Aristóteles y posteriormente Aristarco sucedería a **Teofrasto** como mandatario de esta institución entre años 288 y 287 a.C. Se le consideró un adelantado a su tiempo, un auténtico visionario.

Después de Aristóteles casi todos los pensadores admitían que la Tierra era esférica pero no se tenían estimaciones de su tamaño. Gracias a sus habilidades en geometría, logró determinar la relación de tamaño entre la Tierra, la Luna y el Sol y llega a la conclusión de que la Tierra está mucho más alejada del Sol que de la Luna. Sus hipótesis sobre el universo se han extraído a partir de las referencias hechas por otros autores después de su muerte. Todas estas observaciones le sirvieron a Aristarco para asegurar que era el Sol el que estaba en el centro y no la Tierra ya que debía ser el cuerpo más grande y no el más pequeño el que debe estar en el

centro.

Fue **Eratóstenes** (nacido en Cyrene, ciudad que pertenece a la actual Libia, en el año 276 a.C.) el que realizó la medida del radio terrestre.

Cómo se midió por primera vez la tierra



Vídeo de [Tareasplus](#) alojado en [Youtube](#)

Para ver la simulación de la deducción de Eratóstenes, puedes pinchar en el siguiente enlace:

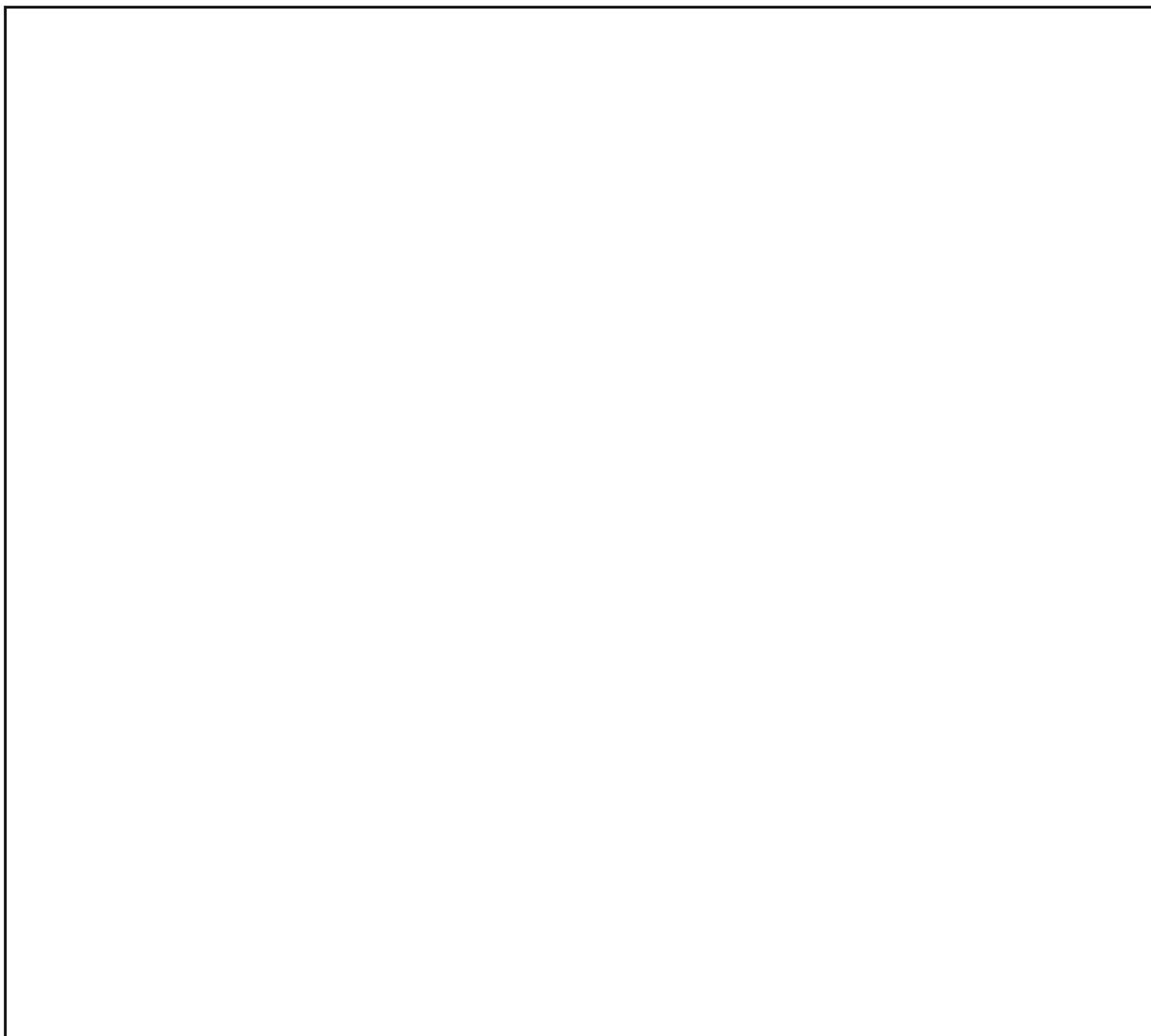
SIMULACIÓN DE LA DEDUCCIÓN DE ERATOSTENES

Para saber más

Otro avance en la Astronomía, y en la misma época, se debe a **Hiparco Nicea** (193-120 a.C.). Éste introdujo el método trigonométrico para expresar la posición de los astros y llegó a observar a simple vista la aparición de una nova en la constelación de Escorpión.

En el siglo II d.C. apareció una figura que revolucionó todos los conceptos astronómicos del momento. **Claudio Ptolomeo** (85-165 d.C), descendiente de la emperatriz Cleopatra, realizó sus observaciones y estudios entre los años 125 y 142 d.C. Incluyó todos sus resultados en la obra *Almagesto* que resumía todos los conocimientos astronómicos de estos siglos desarrollados por los alejandrinos. El *Almagesto* se componía de trece libros que comprendía todo el saber astronómico e incluía sus propias aportaciones. Además de las estrellas fijas, Ptolomeo hablaba de unos cuerpos errantes o planetas para cuyas trayectorias inventó unas trayectorias de menor radio llamadas epiciclos cuyos centros, a su vez, rotaban en unas órbitas de radios mayores llamadas deferentes. En el centro de todos los deferentes siempre estaba la Tierra. Se trataba de un sistema geocéntrico como puedes ver en esta **animación**.

A continuación tienes una simulación con la que podrás entender mejor la postura de Ptolomeo.



Si quieres ver una buena fotografía del movimiento de un planeta desde la tierra pulsa sobre el botón.

RETROGRADO DE MARTE

3.2 Nicolás Copérnico: un revolucionario



Nicolás Copérnico

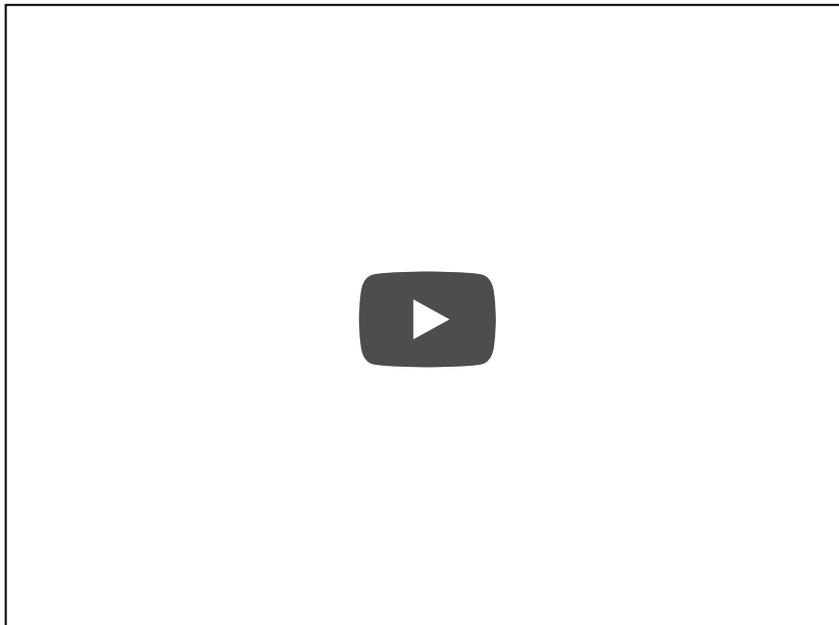
Imagen de [Anónimo](#) en INTEF. CC

La Edad Media fue una época de oscurantismo, dominada por las ideas religiosas que dejaron relegado al saber científico. El modelo de Ptolomeo seguía en vigor en esta época, debido al gran vacío existente en ese periodo de la humanidad. No obstante, el surgir de otras ideas religiosas y el conocimiento científico que conllevaban iban avanzando por el Mediterráneo africano y empezó a cubrir ese vacío coyuntural. Mientras en Occidente se abandona el estudio de la Astronomía, en las ciudades del Islam se forman focos de estudios muy desarrollados. En Córdoba y Bagdad se construyen observatorios y se estudian las obras de Ptolomeo y Aristóteles. Al-Mamun realizó la medición de la esfera terrestre para compararla con las dimensiones del Sol y de la Luna. Pero la gran figura de la astronomía islámica fue Al-Battani (868-929), que realizó una observación científica y sistemática del universo. Tampoco debemos ignorar a Azarquiel que elaboró las tablas Toledanas.

Pero el punto de inflexión quizás estuvo el 20 de febrero de 1473, día en el que nació **Nicolás Copérnico** (1473-1543). Este polaco hizo sus estudios eclesiásticos junto con estudios de matemáticas y medicina. Elaboró una obra muy importante: "De Revolutionibus Orbium Caelestium", en la que volvió a actualizar las teorías de Aristarco de Samos que se basaban en un Universo heliocéntrico sin epiciclos ni deferentes.

Aunque fue una revolución científica de grandes dimensiones, su modelo encontró detractores al no ser capaz de explicar todas las observaciones que ponían en duda el modelo geocéntrico. Todo era debido a las órbitas circulares que defendía Copérnico. Estas no facilitaban mucho la resolución de muchos de los problemas que habían aparecido. Una Tierra en movimiento chocaba con la lógica de la gente sencilla y no cultivada. Además, el rechazo al modelo heliocéntrico era alentado por los poderes fácticos del momento. El mismo Copérnico llegó a la conclusión que las estrellas fijas tenían que estar más lejos que los planetas.

Puedes repasar lo comentado hasta ahora en el siguiente video:



Vídeo de [udp2009](#) alojado en [Youtube](#)

3.3 Tycho Brahe: un moderno físico experimental



Tycho Brahe y Johannes Kepler

Imagen de Miguel de la Fuente López en INTEF. CC

Tycho Brahe

(1546-1601) ha sido considerado como el más grande observador del periodo anterior a la invención del telescopio e innovador en los estudios astronómicos. Si se pudiera clasificar por sus habilidades se puede encumbrar como uno de los mejores físicos experimentales

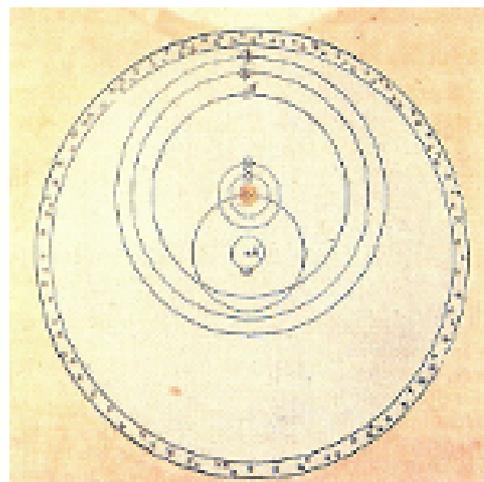


Imagen de Dominio Público en Wikimedia Commons. CC

que han existido. Fue un gran observador de las estrellas, sin el telescopio, y muy meticuloso en la toma de datos, de hecho esos datos permitieron posteriormente a Kepler concluir sus leyes. El rey Federico II de Dinamarca donó un castillo en una isla para que Tycho fundara un observatorio. Era el observatorio de Uraniborg en la isla de Hveen. Los instrumentos que construyó Tycho eran gigantescos y de enorme precisión. Este astrónomo se opuso al geocentrismo y acabó componiendo un modelo que era una solución intermedia entre los heliocentristas y geocentristas. Era un modelo semiheliocéntrico, con la Tierra inmóvil y la Luna y el Sol girando alrededor de la Tierra. El resto de los planetas giraban alrededor del Sol. Tycho fue testigo de un fenómeno poco usual. En la constelación de Casiopea observó una supernova, la explosión de una estrella masiva. Esto, unido a la aparición de un cometa que Tycho estudió durante mucho tiempo, le condujo a afirmar que los cielos no eran inmutables ni eternos.

Curiosidad

Si quieres conocer algunos datos sobre los planetas del Sistema Solar, bastante exactos, puedes visitar la siguiente página: <http://www.solarsystemscope.com/>

En [esta página](#) encontrarás una tabla exclusiva para los planetas enanos. La **Unión Astronómica Internacional** (IAU) acordó el 24 de agosto de 2006 excluir a Plutón de la corte planetaria del Sistema Solar, que de esta manera ha visto reducido su número de planetas de nueve a ocho.

4. Las leyes de Kepler

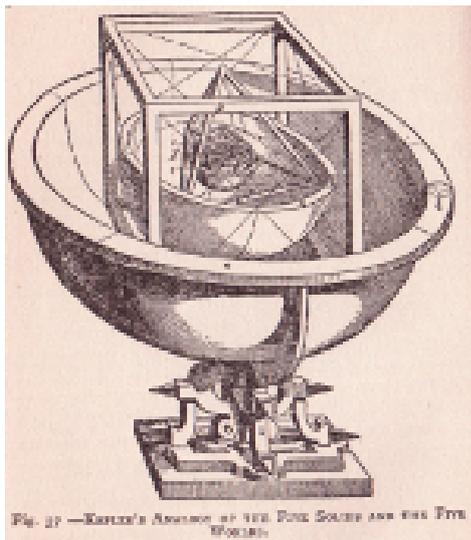
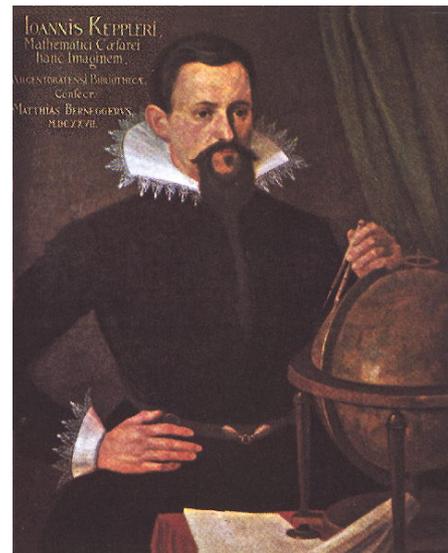


Imagen de [Dominio público](#) en Wikimedia Commons. CC

Galileo Galilei (1564-1642) consiguió utilizar, en 1609, el primer telescopio que había llegado a Occidente, procedente de China. Cuando Galileo dirigió el instrumento hacia el firmamento descubrió evidencias del modelo copernicano. Observó los satélites de Júpiter, las fases de Venus,



[Johannes Kepler](#)

Imagen de [Jean-Jacques Milan](#) en Wikimedia Commons. CC

la superficie de la Luna, etc. La concepción de universo aristotélico inmutable y perfectamente esférico desapareció y el de Ptolomeo ya no se sostenía.

Por otro lado, aunque Tycho era un gran observador no era un buen geómetra, por lo que no supo interpretar los datos que había obtenido, aunque los incluyó en sus Tablas rudolfinas. Estas tablas contenían datos observados de hasta 700 cuerpos celestes y sin conocer aún el telescopio. Un discípulo aventajado de Tycho, **Johannes Kepler**, basándose en las Tablas rudolfinas, encontró la regularidad en este aparente caos de datos.

El primer problema que resolvió Kepler fue la forma de las órbitas. Este astrónomo abandonó definitivamente el modelo de Ptolomeo, pero encontró discrepancias entre el modelo copernicano y las observaciones de Tycho. Estudiando los radios orbitales de los planetas encontró una relación entre estos parámetros y los sólidos regulares. Así, a Júpiter le asoció un tetraedro regular y a Saturno, un cubo.

Las tres leyes de Kepler



La primera de las tres leyes de Kepler se llama **ley de las áreas** y establece lo siguiente:

1. **Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas, estando el Sol en uno de los focos de la elipse.**

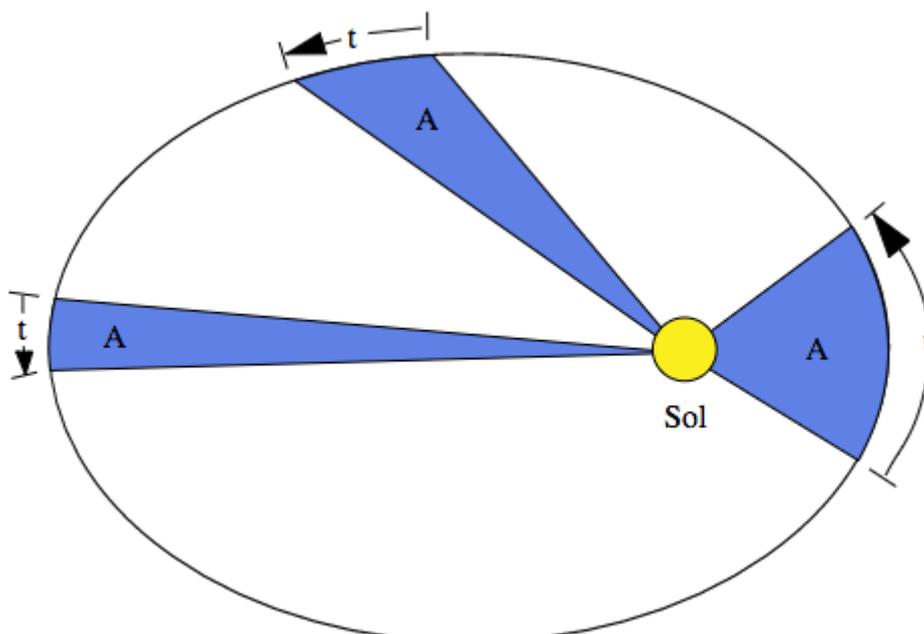
Una elipse es una línea curva, cerrada y plana. Se define como el lugar geométrico de todos los puntos de un plano, tales que la suma de las distancias a otros dos puntos fijos, llamados focos, es constante. Es decir, la suma de las distancias desde los focos a cualquier otro punto de la elipse es constante. Puedes comprobar esto en [esta simulación](#).

Podrás comprender esta ley mejor con el simulador del siguiente enlace:

PRIMERA LEY DE KEPLER

La segunda ley relaciona las áreas barridas por los radios vectores con los tiempos empleados en barrerlos. (Debemos aclarar un radio vector se corresponde con la distancia desde un punto de la elipse hasta cada uno de los focos). Esta segunda ley establece lo siguiente:

2. **Las áreas barridas por los radios vectores que unen a cada planeta con el Sol barren áreas iguales en tiempos iguales.**



Podrás comprender esta ley mejor con el simulador del siguiente enlace:

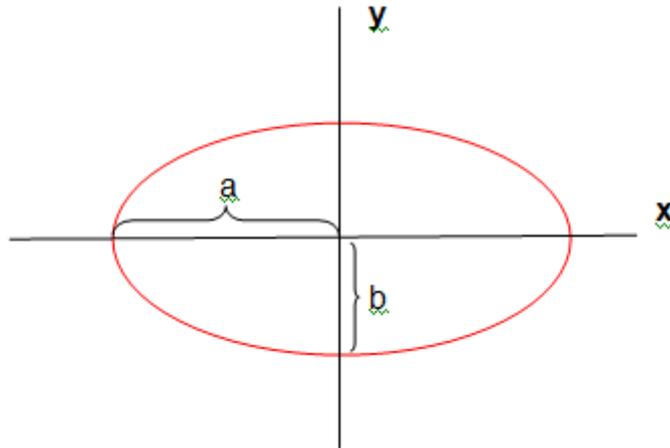
SEGUNDA LEY DE KEPLER

Aquí tienes otra [animación](#) interesante de la segunda ley de Kepler

La tercera ley se llama **ley de los periodos** y establece:

3. Los cubos de los semiejes mayores de las órbitas planetarias son directamente proporcionales a los cuadrados de los periodos.

Para entender esta ley debes tener en cuenta que una elipse está caracterizada por su semieje mayor (a) y su semieje menor (b):



Si tenemos dos planetas, A y B, con semiejes medios R_A y R_B y periodos T_A y T_B , esta ley puede interpretarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3}$$

Importante

Las leyes de Kepler describen el movimiento de los planetas en el sistema solar. Son tres y en resumen dicen que:

1. Los planetas describen órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos.
2. La línea que une el planeta al Sol barre áreas iguales en intervalos iguales de tiempo.
3. Los cubos de los semiejes mayores de las órbitas planetarias son directamente proporcionales a los cuadrados de los periodos.

5. La ley de Gravitación Universal



Isaac Newton

Imagen de [Fernando Jiménez Nieto](#) en INTEF. CC

La persona que dio un cambio en el pensamiento acerca de la Física, pudiendo explicar el movimiento de los planetas y la caída de los cuerpos, fue Sir [Isaac Newton](#).

Nació en Woolsthorpe, Lincolnshire, en el año 1642 (el mismo año que murió Galileo) y murió en Londres, en 1727. Aunque su familia era humilde, pudo asistir a la Universidad de Cambridge, pero tuvo que trabajar para pagarse los estudios. No tuvo un gran expediente, pero asimiló los conocimientos y principios científicos de mediados del siglo XVII, con las innovaciones introducidas por Galileo, Bacon, Descartes, Kepler y otros.

Tras graduarse, se dedicó hacia la investigación en Física y Matemáticas, con tal acierto que a los 29 años ya había formulado teorías que guiarían a la ciencia moderna hasta el siglo XX. Asimismo, obtuvo una cátedra en su universidad en el año 1669.

Estudió los cálculos de Kepler y las observaciones de Tycho. Todos esos datos los relacionó con sus leyes de la Dinámica. Por otro lado, Galileo había puesto los cimientos del método inductivo-matemático de la Física. Con todo, sólo faltaba responder: "*¿qué fuerzas existen entre los planetas y el Sol, para que se cumplan las leyes de Kepler y la caída de los cuerpos tienen la misma fuerza, ya que son cuerpos también?*". Acabó respondiendo a esta

pregunta con la deducción de la **ley de Gravitación Universal**.

El siguiente vídeo ilustra la biografía de Newton y sus logros en Ciencia.



Vídeo [Erase Una Vez Los Inventores. Newton](#) en [Educativos](#)

5.1 Formulación matemática de la ley

Importante

La **ley de la Gravitación Universal** predice que **la fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 separados una distancia r es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros**, es decir:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F es el módulo de la fuerza ejercida entre ambos cuerpos, y su dirección se encuentra en el eje que une ambos cuerpos.

G es la constante de la Gravitación Universal. Hablaremos de ella con más detalle en el siguiente apartado.

Newton pudo deducir esta ley basándose en sus [leyes de la Dinámica](#).

Partiendo del movimiento circular de un planeta alrededor del Sol, y teniendo en cuenta variables de los movimientos circulares, el módulo de la fuerza de atracción gravitatoria entre ambos se puede expresar como:

$$F = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

Si la expresión anterior se multiplica por R^2 se tiene:

$$F = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2 \cdot R^2} \cdot R^3$$

Teniendo en cuenta la tercera ley de Kepler $\left(\frac{R^3}{T^2} = K(\text{constante})\right)$, la expresión anterior puede escribirse como:

$$F = m \cdot \frac{4\pi^2}{R^2} \cdot K$$

La constante K es proporcional a la masa de cuerpo sobre el que se orbita. Esta constante puede englobarse en otra constante G , que muestre esa proporcionalidad:

$$G = 4\pi^2 \cdot K \cdot M$$

Por tanto, la expresión de la fuerza quedaría como:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Esta [animación](#) puede aclarar algo más esta ley.

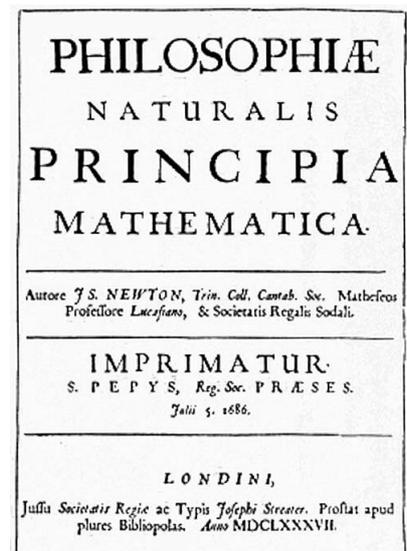


Imagen de [Luestlingen](#) Wikimedia Commons. CC

Ejercicio resuelto

Calcula la fuerza con que la Tierra atrae a la Luna.

Datos:

- Masa de la Tierra: $5,98 \times 10^{24} \text{kg}$
- Masa de la Luna: $7,349 \times 10^{22} \text{kg}$
- Distancia entre la Tierra y la Luna: 384.400 km

Mostrar retroalimentación

Basta aplicar la expresión matemática de la Ley de Gravitación Universal y operar:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \cdot 7,349 \cdot 10^{22}}{384000000^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{4,39 \cdot 10^{47}}{1,47 \cdot 10^{17}}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2,99 \cdot 10^{30}$$

$$F = 1,99 \cdot 10^{20} \text{N}$$

Si lees atentamente el enunciado de la ley, podrás intuir que la expresión matemática anterior sólo representa parte de la situación. Implícitamente, en la misma se atisba que debe tener cierta importancia la dirección, ya que se indica que la distancia es del centro al centro de cada cuerpo.

Por tanto, la fuerza sería una magnitud vectorial, por lo que su definición correcta sería:

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \vec{u}_r$$

donde \vec{u}_r representa un vector unitario que apunta en la dirección que va desde M hasta m.

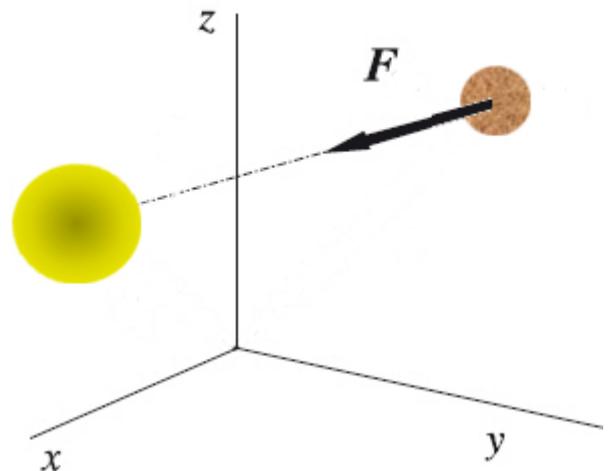


Imagen de [FJGAR](#) en Wikimedia Commons. CC

Existen algunos términos acerca de los vectores muy empleados en Física. Uno de ellos ya lo hemos visto antes; es el vector unitario. Pero también hay otros términos relacionados con los vectores y que tienen sentido en los movimientos circulares, como son el vector normal y el vector tangencial.

Si observas las siguientes imágenes verás las representaciones de los vectores unitarios y de vectores normales y tangenciales.

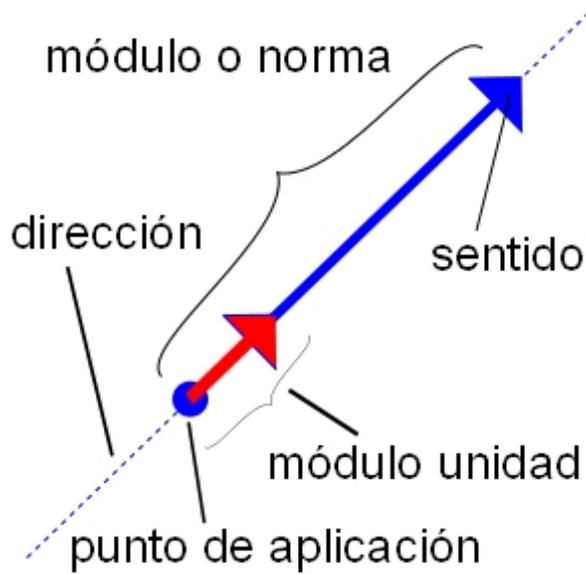


Imagen de [FJGAR](#) en Wikimedia Commons. CC

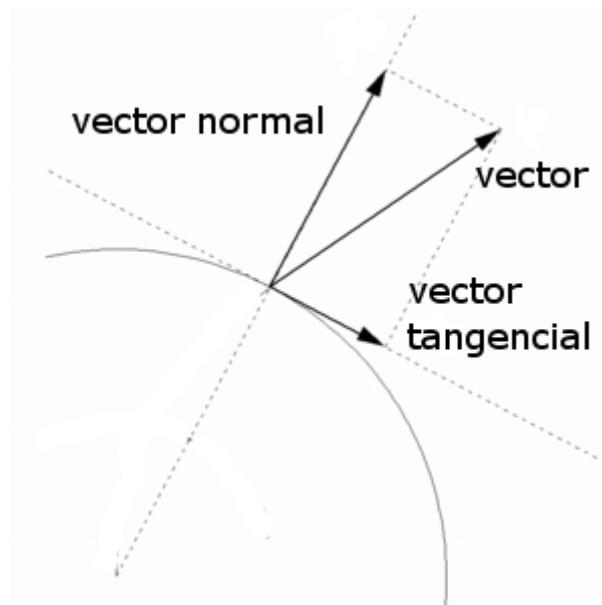
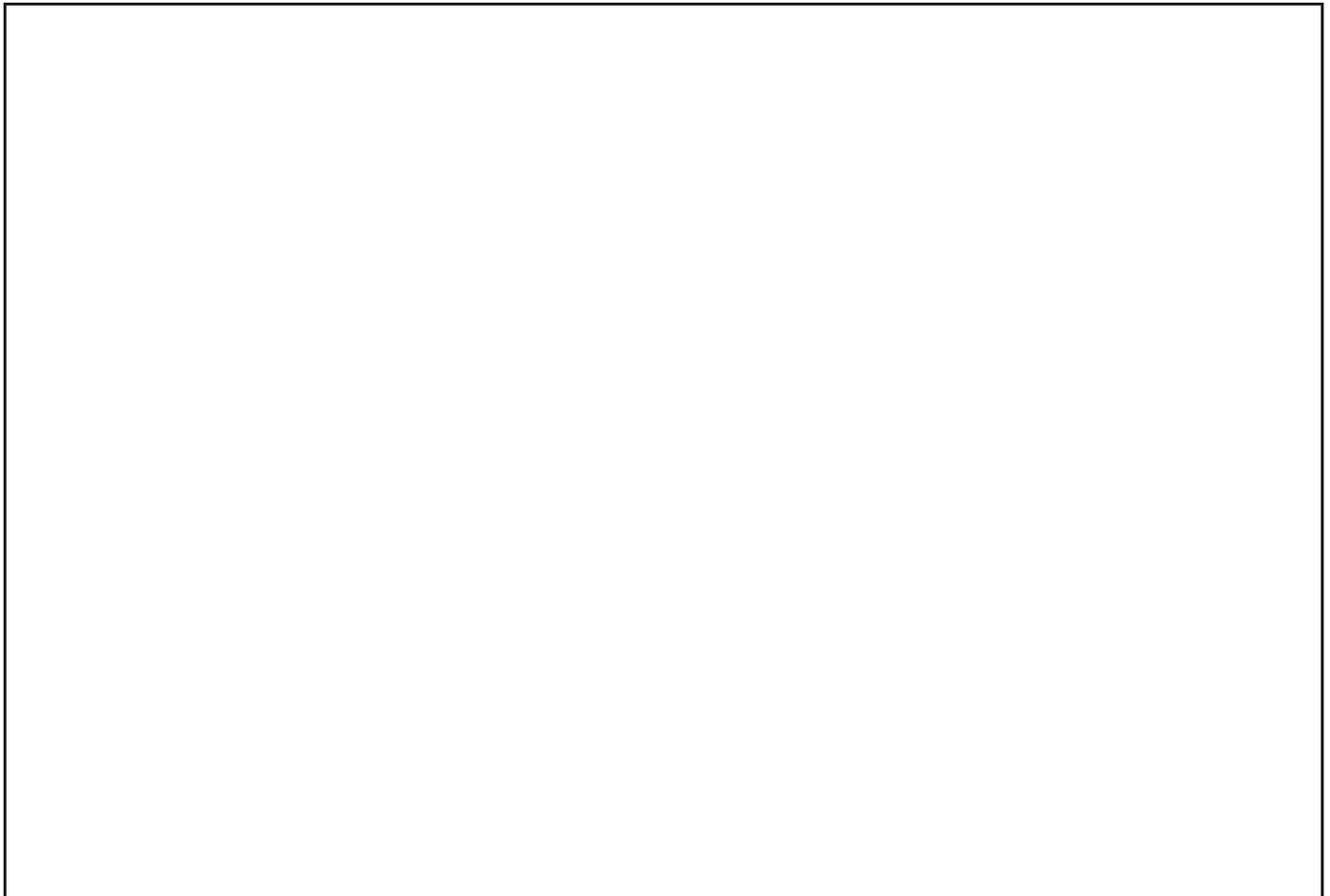


Imagen de [FJGAR](#) en Wikimedia Commons. CC

Un **vector unitario** se puede definir como aquel que tiene por norma o módulo la unidad y, por tanto, se puede construir un vector unitario partiendo de cualquier vector, sólo se tiene que dividir por el módulo de éste.

Por otro lado, un **vector normal** es llamado al vector que con respecto a una referencia forma un ángulo de 90° con respecto a la misma. Si el ángulo formado con respecto a tal referencia toma valor nulo se le denomina al **vector tangencial**.

A continuación te mostramos en una animación cómo se puede calcular la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce una masa sobre otra ubicada en un mismo plano. Las distancias se miden en kilómetros y las masas en kilogramos. Puedes variar la posición y la masa de ambos cuerpos. Moviendo el cursor de la esquina inferior izquierda puedes ver el procedimiento de cálculo paso a paso.



GeoGebra

Animación de [onio72](#) en [GeogebraTube](#). CC



5.2 La constante de Gravitación Universal

Importante

La **constante de gravitación universal** es una constante física que determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos.

Su valor es $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$.



Imagen de [Gelpigim22](#) en Wikimedia Commons. CC

Este valor fue obtenido por primera vez por **Henry Cavendish** en 1798. Aunque "G" fue una de las primeras constantes físicas universales en determinarse, el valor de "G" se conoce sólo con una precisión de 1 parte entre 10.000, siendo una de las constantes conocidas con menor exactitud (debido a la extremada pequeñez de la atracción gravitatoria). Esta medición ha sido repetida por otros experimentadores aportando mayor precisión.



Henry Cavendish

Imagen de [Volume 59](#) en Popular Science Monthly. CC

Con una balanza de torsión, semejante a la de la fotografía de la izquierda, Cavendish fue capaz de determinar la densidad terrestre, obteniendo un resultado de 5.45 veces la densidad del agua. Este experimento, descrito en *Experiences to determine the density of the Earth* de 1789, permitió indicar que la ley de gravitación propuesta por Newton se cumplía para todos los cuerpos.

A partir de su experimento, fue posible la determinación de una de las constantes universales y fundamentales de la Física, la constante de Gravitación Universal.

Puedes ver este breve [vídeo](#) sobre el funcionamiento de la balanza de torsión.

Ejercicio resuelto

Deduce las unidades de la constante de gravitación universal en el Sistema Internacional de Unidades.

Mostrar retroalimentación

Usamos la expresión de la Ley de la Gravitación Universal y despejamos la constante G. Luego sustituimos cada magnitud por su unidad en el Sistema Internacional de Unidades. Newtons en el caso de la fuerza, metro en el caso de las distancias y kilogramos para las masas.

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

$$G = \frac{F \cdot R^2}{M \cdot m}$$

$$[G] = \frac{[F] \cdot [R]^2}{[M] \cdot [m]}$$

$$[G] = \frac{N \cdot m^2}{kg \cdot kg}$$

$$[G] = \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

$$[G] = N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$$

5.3. Repaso sobre notación científica

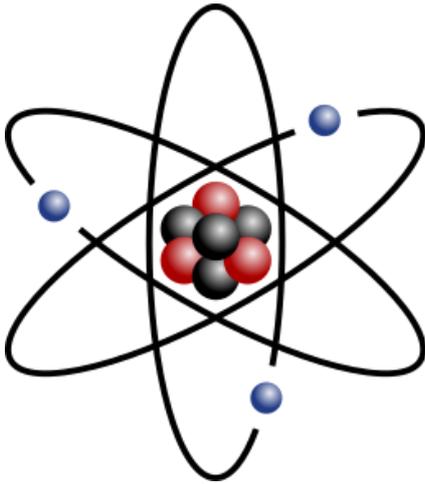


Imagen de Indolences en Wikimedia Commons bajo CC

A lo largo de este tema has visto números muy grandes como la masa de la Tierra y otros muy pequeños como la constante de gravitación.

Estos números resulta difícil nombrarlos y escribirlos y por eso nos ayudamos de las potencias para expresarlos de forma más simplificada. La **notación científica** es una forma particular de escribir estos números utilizando las potencias.

Así la forma de expresar la distancia de la Tierra al Sol como $1,5 \cdot 10^8$ Km, o la masa de un electrón como $9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg se llama notación científica.

Importante

Una cantidad se expresa en **notación científica** como un número por una potencia de 10 (de exponente positivo o negativo). Dicho número tiene que cumplir unas condiciones:

1. Si es entero tiene que tener una sola cifra, **por ejemplo: $5 \cdot 10^7$** .
2. Si es decimal, la parte entera tiene que tener una sola cifra del 1 al 9, es decir, la parte entera no puede ser cero.

Por ejemplo la cantidad $0,75 \cdot 10^9$ **no está** expresada **en notación científica** pues la parte entera del número es un cero. Sin embargo la cantidad $7,5 \cdot 10^8$ **sí está** bien expresada **en notación científica** pues la parte entera del número es una cifra comprendida entre 1 y 9.

Veamos algunos **ejemplos** que nos pueden ayudar a la hora de expresar un número en notación científica, en los que se observa que al **multiplicar** un número **por una potencia de 10 de exponente positivo**, lo que hacemos es multiplicar por la unidad seguida de tantos ceros como indique el exponente, mientras que al **multiplicar por una potencia de 10 de exponente negativo**, lo que hacemos es dividir por la unidad seguida de tantos ceros como indique el exponente :

| $a \cdot 10^n$ | $a \cdot 10^{-n}$ |
|--|--|
| $50 = 5 \cdot 10$ | $0,5 = 5 : 10 = 5 \cdot 10^{-1}$ |
| $500 = 5 \cdot 100 = 5 \cdot 10^2$ | $0,05 = 5 : 100 = 5 \cdot 10^{-2}$ |
| $5000 = 5 \cdot 1000 = 5 \cdot 10^3$ | $0,005 = 5 : 1000 = 5 \cdot 10^{-3}$ |
| $50000 = 5 \cdot 10000 = 5 \cdot 10^4$ | $0,0005 = 5 : 10000 = 5 \cdot 10^{-4}$ |
| $500000 = 5 \cdot 100000 = 5 \cdot 10^5$ | $0,00005 = 5 : 100000 = 5 \cdot 10^{-5}$ |
| $5000000 = 5 \cdot 1000000 = 5 \cdot 10^6$ | $0,000005 = 5 : 1000000 = 5 \cdot 10^{-6}$ |

Ejercicio resuelto



Imagen de CeDeC en Flickr . CC

Expresa los siguientes números en notación científica:

- a) 3.000.000
- b) 34.000.000.000
- c) $235 \cdot 10^6$
- d) 0,000003
- e) 0,000000632
- f) $234,7 \cdot 10^{-10}$

Mostrar retroalimentación

- a) $3 \cdot 10^6$
- b) $3,4 \cdot 10^{10}$ pues detrás de la coma hay 10 cifras, el 4 y nueve ceros
- c) $2,35 \cdot 10^8$ pues $235 \cdot 10^6 = 2,35 \cdot 10^2 \cdot 10^6 = 2,35 \cdot 10^8$
- d) $3 \cdot 10^{-6}$ pues desde el 3 hasta la coma hay seis cifras
- e) $6,32 \cdot 10^{-7}$ pues entre el seis y la coma hay seis cifras
- f) $2,347 \cdot 10^{-8}$ pues $234,7 \cdot 10^{-10} = 2,347 \cdot 10^2 \cdot 10^{-10} = 2,347 \cdot 10^{-8}$

Comprueba lo aprendido

1. El diámetro del Sol es 1.400.000 Km aproximadamente. Exprésalo en notación científica.

Sugerencia

- a) $14 \cdot 10^5$ Km
- b) $1,4 \cdot 10^6$ Km
- c) $1,4 \cdot 10^{-6}$ Km

Lee la sugerencia

¡Correcto!

Sería un sol diminuto, pues $1,4 \cdot 10^{-6} = 0,0000014$

Solution

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

2. El radio de un protón es $2,2 \cdot 10^{-9}$ m. Exprésalo con todas sus cifras.

Sugerencia

- a) 0,0000000022m
- b) 0,000000022m
- c) 220000000m

¡Correcto!

Te falta un cero, recuerda que desde el 2 hasta la coma tiene que haber nueve cifras.

Uf! demasiado grande

Solution

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto

3. Nuestro planeta está muy mayor, tiene $4,5 \cdot 10^9$ años. ¿Sabrías expresar con todas sus cifras la edad de la Tierra?

Sugerencia

- a) 450.000.000 años
- b) 45.000.000.000 años
- c) 4.500.000.000 años

Demasiado joven

Demasiado viejo

¡Correcto!

Solution

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

4. ¿Sabías que el tamaño del virus del resfriado común es 0,00000000005m? Expresa su tamaño en notación científica.

Sugerencia

- a) $5 \cdot 10^{11}$ m
- b) $5 \cdot 10^{-11}$ m
- c) $5 \cdot 10^{-10}$ m

Nuestro planeta sería demasiado pequeño para él.

¡Correcto!

Hay que **contar las cifras** que hay desde el 5 hasta la coma, **no los ceros**.

Solution

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

5. El número $0,25 \cdot 10^{-6}$ no está bien expresado en notación científica. ¿Sabrías escribirlo correctamente?

Sugerencia

- a) $2,5 \cdot 10^{-7}$
- b) $25 \cdot 10^{-8}$
- c) $2,5 \cdot 10^{-5}$

¡Correcto!

El número no puede tener dos cifras enteras.

¡Incorrecto! Recuerda que $0,25 = 2,5 : 10 = 2,5 \cdot 10^{-1}$

Solution

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto

6. El número $365,7 \cdot 10^8$ está bien escrito, pero su expresión no corresponde a la notación científica, transforma esta expresión para que sea notación científica.

Sugerencia

- a) $3,657 \cdot 10^{11}$
- b) $3,657 \cdot 10^6$

- c) $3,657 \cdot 10^{10}$

¡Incorrecto!

Lee la sugerencia y recuerda las propiedades de las potencias.

¡Correcto!

Solution

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

La tecla EXP



Imagen de elaboración propia

Esta tecla la tenemos en la parte de abajo de la calculadora, junto a la tecla del punto decimal, y nos sirve para escribir la potencia de 10 del número en notación científica. Veamos un ejemplo para explicarnos mejor.

Supongamos que queremos escribir en la calculadora la expresión: $3,42 \cdot 10^5$, pues bien, en ese caso debemos teclear en la calculadora lo siguiente:

y la calculadora nos mostrará

Si queremos introducir la expresión: $2,54 \cdot 10^{-3}$; debemos hacerlo como sigue:

y la calculadora nos mostrará

Esto también nos debe valer para cuando recibamos la información de la calculadora ante una operación realizada por nosotros, por ejemplo si ante una operación la calculadora nos muestra:

esto quiere decir $4,38 \cdot 10^8$

Producto, división y raíces con números en notación científica

Exactamente igual que antes, esto es, teniendo cuidado con escribir cada número entre paréntesis, y siendo cuidadosamente ordenado, podemos introducir en la calculadora cualquier expresión con números en notación científica. Veamos como ejemplo algo complicado, con cocientes, producto y potencias. Sirva como ejemplo el siguiente problema de física, en el que se tratan cuestiones de astronomía:

Calcula la fuerza de atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna, cuya fórmula es

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \text{ sabiendo los siguientes datos:}$$

$$G = \text{constante de gravitac universal} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2};$$

$$m_1 = \text{Masa de la Tierra} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg};$$

$$m_2 = \text{Masa de la Luna} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg};$$

$$\text{Distancia entre la Tierra y la Luna} = r = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$$

Con estos datos podemos calcular F. Vamos a ver las teclas a introducir (como no estamos en física vamos a obviar las unidades para facilitar la comprensión del cálculo). En esta ocasión pondremos cada número en una sólo tecla para simplificar, y tenemos en cuenta que, en realidad G está en el numerador de la fracción, o sea, multiplicando a m_1 y a m_2 :

$$\left(\left(6.67 \text{ EXP } (-) 11 \right) \times \left(5.98 \text{ EXP } 24 \right) \times \left(7.35 \text{ EXP } 22 \right) \right) \div \left(\left(3.84 \text{ EXP } 8 \right)^2 \right) =$$

la solución que nos dará la calculadora es:

$$1.988162638^{20}, \text{ que debemos interpretar, una vez redondeado a dos decimales, como: } 1,99 \cdot 10^{20}$$

En cuanto a las raíces, veamos otro ejemplo de astronomía, la Tercera ley de Kepler, que nos dice que "el cuadrado de periodo de revolución de un planeta alrededor del Sol, es proporcional al cubo de la distancia del planeta al Sol". Esto lo podemos formular de la siguiente manera:

$$T^2 = k \cdot r^3 ; \text{ donde } k \text{ es la constante de proporcionalidad que es igual para todos los planetas.}$$

En realidad, $T = \sqrt{k \cdot r^3}$

Podemos ahora calcular el periodo de revolución de nuestra querida Tierra alrededor del Sol. Para ello solo necesitamos saber el valor de k y la distancia media de la Tierra al Sol:

$$k = 3,35 \cdot 10^{18} \frac{m^3}{s^2} ; r = \text{distancia media de la Tierra al Sol} = 1,5 \cdot 10^{11} m$$

En la calculadora tecleamos:

$$\sqrt{\left(\left(3.35 \text{ EXP } 18 \right) \times \left(1.5 \text{ EXP } 11 \right)^3 \right)} =$$

Y la calculadora nos contestará: 1.063308516^{26} ; que tenemos que leer como: $1,0663 \cdot 10^{26}$ evidentemente en segundos, que al pasarlo a días nos sale aproximadamente 365 días, al pasarlo a meses la solución es 12, y en años la solución es 1 año.

Ejercicio resuelto

Resuelve con la calculadora científica las siguientes operaciones. Una vez resuelta pincha en *Mostrar información* y verás si has acertado o no. La respuesta que se ofrece es la salida que muestra la calculadora:

a) $(3,65 \cdot 10^7) + (2,86 \cdot 10^7)$

Mostrar retroalimentación

6.51⁰⁷

b) $(4,82 \cdot 10^{-5}) - (9,23 \cdot 10^{-4})$

Mostrar retroalimentación

-8.748⁻⁰⁴

c) $(2,15 \cdot 10^{23}) \cdot (5,7 \cdot 10^{11})$

Mostrar retroalimentación

$$1.2255^{35}$$

d) $\frac{8,91 \cdot 10^{17}}{9,87 \cdot 10^8}$

Mostrar retroalimentación

$$9.02735^{08}$$

e) $(4,65 \cdot 10^7)^3$

Mostrar retroalimentación

$$1.00544625^{23}$$

5.4 El principio de superposición

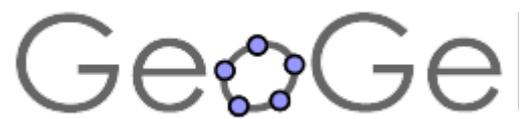
Cuando tenemos dos masas interactuando sobre una tercera, aplicamos el **principio de superposición** para calcular la fuerza total.

La fuerza a la que está sometida la tercera masa es suma de cada una de las fuerzas que ejercen sobre ella las otras dos masas por separado. Esta suma es una suma vectorial puesto que la fuerza es una magnitud vectorial.

Para aclarar tus ideas, te aconsejo que practiques con los siguientes ejercicios.



Ejercicio resuelto

The logo for Geogebra, featuring the word "Geogebra" in a grey sans-serif font. The letter "o" is replaced by a blue pentagon with five small blue circles at its vertices, representing a geometric construction.

Animación de [onio72](#) en [GeogebraTube](#). CC



Importante

Podemos calcular la fuerza debida a varias masas aplicando el principio de superposición. La fuerza se calculan sumando las fuerzas creadas por cada una de las masas. Como la fuerza es una magnitud vectorial, hay que sumar vectorialmente cada contribución.

6. Especial P.A.U.

Ejercicio resuelto

a) Enuncie las leyes de Kepler y razone si la velocidad de traslación de un planeta alrededor del Sol es la misma en cualquier punto de la órbita.

Mostrar retroalimentación

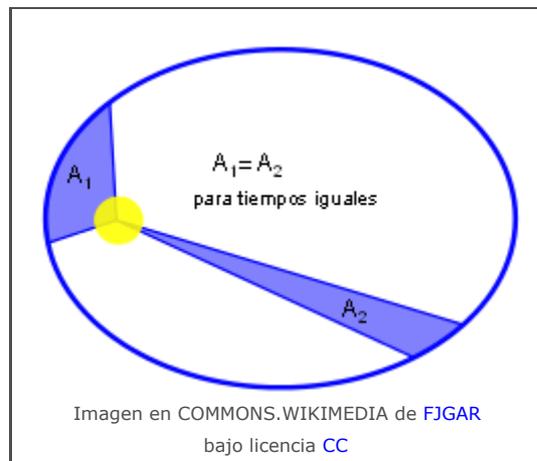
La **primera ley** dice que los planetas describen órbitas elípticas donde el Sol se halla situado en uno de sus focos.

La **segunda ley** establece que el vector posición o radio vector que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

La **tercera ley** formula una relación entre los cuadrados de los periodos (T) de revolución con los cubos de los semiejes mayores de la elipse de proporcionalidad.

$$\frac{T^2}{R^3} = cte$$

Desde la segunda ley se puede deducir que cuanto más lejos esté un objeto en órbita menor será su velocidad, ya que el arco descrito en el mismo tiempo debe ser menor. Si la distancia es más corta el arco debe ser mayor, y éste debe ser recorrido en el mismo tiempo. Por tanto, en el primer caso recorrerá menos distancia en el mismo tiempo, por lo que la velocidad será menor que en el segundo caso. Se deduce, pues, que los planetas se mueven más rápidamente en el **perihelio** que en el **afelio**.



b) Justifique si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: "la gravedad en la superficie de Venus es el 90% de la gravedad en la superficie de la Tierra y, en consecuencia, si midiésemos en Venus la constante de gravitación universal, G , el valor obtenido sería el 90% del medido en la Tierra".

Mostrar retroalimentación

La afirmación es incierta, ya que la constante de gravitación universal, como su nombre indica es invariable (es una constante universal, por lo que tiene el mismo valor en todo el Universo) y toma un valor de $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$.

Sin embargo, el campo gravitatorio del planeta, en este caso Venus, es diferente al de la Tierra (es un 90% el de la Tierra), como consecuencia que su masa y radio son algo diferentes a los valores de la Tierra.

$$g_V = 0.9 \cdot g_T$$

Ejercicio resuelto

a) Escriba la ley de Gravitación Universal y explique las características de la interacción gravitatoria.

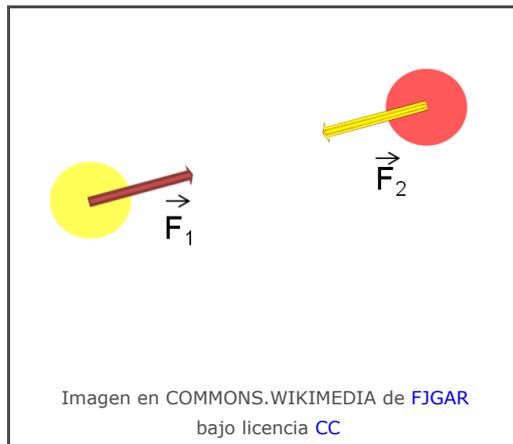
Mostrar retroalimentación

La ley de Gravitación Universal, enunciada por Issac Newton, dice:

"La fuerza con que se atraen dos cuerpos es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros"

Como en cualquier interacción, es el resultado de la intervención de dos cuerpos. Por consiguiente y en base a la tercera ley de la Dinámica, existen dos fuerzas con distintos puntos de aplicación. Las fuerzas son de carácter atractivo en ambos casos, además de poseer el mismo módulo o norma.

Las dos fuerzas recaen sobre la dirección que une los centros de ambos cuerpos y el sentido de cada una es contrario al de la otra.



b) Según la ley de gravitación, la fuerza que la Tierra ejerce sobre un cuerpo es proporcional a la masa de éste. Razone por qué no caen con mayor velocidad los cuerpos con mayor masa.

Mostrar retroalimentación

Si aplicamos la segunda ley de Newton, se puede observar que la fuerza gravitatoria debe ser igual a la masa multiplicada por la aceleración. La masa m se repetiría a ambos lados de la expresión, por lo que puede eliminarse. Así pues, la expresión de la aceleración de la gravedad sería dependiente de la de masa de la Tierra (M_T) y del radio de ésta (R_T), pero en ningún caso dependería de la masa del objeto que cae. Si la aceleración es la misma, la velocidad no cambiaría.

$$F = ma; G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} = m \cdot a; a = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

Ejercicio resuelto

a) Enuncie las leyes de Kepler.

Mostrar retroalimentación

La **primera ley** dice que los planetas describen órbitas elípticas donde el Sol se halla situado en uno de sus focos.

La **segunda ley** establece que el vector posición o radio vector que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

La **tercera ley** formula una relación entre los cuadrados de los periodos (T) de revolución con los cubos de los semiejes mayores de la elipse de proporcionalidad.

$$\frac{T^2}{R^3} = cte$$

b) Demuestre la tercera ley de Kepler a partir de la ley de gravitación universal de Newton para un órbita circular.

Mostrar retroalimentación

Considera un planeta cualquiera de masa m que orbita en torno al Sol, de masa M , a una distancia R . Si tenemos en cuenta que la fuerza gravitatoria es una fuerza central (su dirección corresponde a la de una recta que une los dos centros de las masas) y, por tanto, dirigida hacia el centro, la aceleración se corresponderá con la aceleración normal.

$$F = ma; G \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot a; a = G \frac{M}{R^2}; \frac{v^2}{R} = G \frac{M}{R^2}$$

Como la velocidad se puede vincular al periodo de revolución del planeta se tiene

$$\frac{v^2}{R} = G \frac{M}{R^2}; v = \frac{2\pi \cdot R}{T}; \frac{4\pi^2 R^2}{R \cdot T^2} = G \frac{M}{R^2}; \frac{R^3}{T^2} = G \frac{M}{4\pi^2} = cte$$

Resumen

Importante

Desde los albores de la humanidad nos hemos preguntado cómo es el mundo donde vivimos y hemos intentado explicar los fenómenos que se observan en el cielo. Desde el siglo XVI estas concepciones del mundo se han apoyado en observaciones, hipótesis y teorías. El concepto de universo sigue cambiando hoy en día a medida que los astrónomos van haciendo nuevos descubrimientos y quedan interrogantes que aún no están resueltos.

Importante

Las leyes de Kepler describen el movimiento de los planetas en el sistema solar. Son tres y en resumen dicen que:

1. Los planetas describen órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos.
2. La línea que une el planeta al Sol barre áreas iguales en intervalos iguales de tiempo.
3. Los cubos de los semiejes mayores de las órbitas planetarias son directamente proporcionales a los cuadrados de los periodos.

Importante

La **ley de la Gravitación Universal** predice que **la fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 separados una distancia r es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros**, es decir:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F es el módulo de la fuerza ejercida entre ambos cuerpos, y su dirección se encuentra en el eje que une ambos cuerpos.

G es la constante de la Gravitación Universal. Hablaremos de ella con más detalle en el siguiente apartado.

Importante

La **constante de gravitación universal** es una constante física que determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos.

Su valor es $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$.

Importante

Una cantidad se expresa en **notación científica** como un número por una potencia de 10 (de exponente positivo o negativo). Dicho número tiene que cumplir unas condiciones:

1. Si es entero tiene que tener una sola cifra, **por ejemplo: $5 \cdot 10^7$** .
2. Si es decimal, la parte entera tiene que tener una sola cifra del 1 al 9, es decir, la parte entera no puede ser cero.

Por ejemplo la cantidad $0,75 \cdot 10^9$ **no está** expresada **en notación científica** pues la parte entera del número es un cero. Sin embargo la cantidad $7,5 \cdot 10^8$ **sí está** bien expresada **en notación científica** pues la parte entera del número es una cifra comprendida entre 1 y 9.

Importante

Podemos calcular la fuerza debida a varias masas aplicando el principio de superposición. La fuerza se calculan sumando las fuerzas creadas por cada una de las masas. Como la fuerza es una magnitud vectorial, hay que sumar vectorialmente cada contribución.

AVISO DEL SERVIDOR

Por motivos de seguridad esta página web solo está accesible mediante acceso seguro (https):

https://www.juntadeandalucia.es/Aviso_Legal_Andalucia_v04.htm

Por favor, actualice sus marcadores. Gracias.

Tema

[Descargar imprimible](#)