

6. Gravitación

En la segunda parte del siglo XVII la ciencia comenzaba a tomar el formato y la importancia que se le reconoce actualmente, sin embargo aún no estaba resuelto un muy antiguo e importante problema: la estructura y la mecánica del sistema solar. Y no es sino hasta la aparición de los trabajos de Newton (Principios) en este campo, que pudo resolverse la estructura fundamental de este problema. Ahora bien, no fue solo un chispazo de genialidad aislada de Newton la que produjo la Ley de Gravitación Universal, sino que ésta fue el producto de su capacidad para aplicar sus teorías de fuerzas y movimientos a los sistemas astronómicos desarrollados por Copérnico, Kepler, Galileo y Hooke. Comúnmente dicha Ley de Gravitación se enuncia en la forma siguiente:

Todo cuerpo material en el universo atrae a los otros cuerpos con una fuerza que es directamente proporcional al producto de las masas de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. La dirección de esta fuerza es a lo largo de la línea ,que las une.

En forma matemática:

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

siendo F_g la magnitud de la fuerza gravitacional sobre cualquier cuerpo, m_1 y m_2 las masas de los cuerpos, r la distancia entre ellos y G es una constante física fundamental denominada *constante de gravitación universal*, cuyo valor en el SI es de

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$$

La fuerza de atracción gravitacional siempre actúa a lo largo de la línea que une a los dos cuerpos y estos forman un par acción-reacción. Aunque las masas de los dos cuerpos sean diferentes, las dos fuerzas de interacción tienen igual magnitud. La fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre nuestro cuerpo es la misma que nuestro cuerpo ejerce sobre ella. Esta última fuerza es lo que se conoce como el *peso*, en general se considera que

El peso de un cuerpo es el total de la fuerza gravitacional ejercida sobre el cuerpo.

en el caso de un cuerpo en las proximidades de la Tierra dicha fuerza sería,

$$F_g = \frac{G m m_T}{r_T^2}$$

donde m representa la masa del cuerpo, m_T la masa de la Tierra y r_T el radio de la Tierra. Ahora bien esa fuerza resultante entre la interacción de las masas m y m_T puede expresarse, de acuerdo a la segunda ley de Newton como,

$$F_g = ma$$

consecuentemente:

$$a = \frac{G m_T}{r_T^2} \quad \text{y} \quad F_g = mg$$

$$a = g \quad \quad \quad Fg = w$$

esta última expresión es lo que se conoce como el peso de un cuerpo (en las proximidades de la Tierra) y como puede verse la aceleración de la gravedad ($g \cong 9.8 \text{ m/s}^2$) es totalmente independiente de la masa del cuerpo en consideración y solo depende de la masa de la Tierra y de la distancia a la cual se encuentre el cuerpo del centro de ésta. Asimismo es fácil de ver que el “peso” de un mismo cuerpo, no será el mismo en la Tierra que en la Luna, o en cualquier otro planeta o satélite que tenga una masa diferente a la de la Tierra.

Diferencia entre masa inercial y masa gravitacional

Comúnmente, la forma más fácil de determinar la masa de un cuerpo es a través de la medición de su peso, generalmente por comparación con un estándar. Por ejemplo, cuando utilizamos una balanza de brazos iguales, estamos comparando las fuerzas con las cuales los cuerpos son atraídos hacia la tierra, (sus pesos) y cuando ambas fuerzas (pesos) son iguales, concluimos que sus masas son iguales. Sin embargo este procedimiento no funcionaría en una situación de “gravedad-cero” como sería el caso de una nave espacial. *¿Cómo se hace la determinación de la masa de un cuerpo en estas condiciones?*

El concepto de masa tiene dos aspectos diferentes en la física. Por un lado el peso de un cuerpo, (la fuerza gravitacional que actúa sobre él) es proporcional a su masa; esta propiedad relacionada con las interacciones gravitacionales es lo que se conoce como la masa gravitacional. Por otro lado, denominamos a la propiedad inercial que aparece en la segunda ley de Newton, la masa inercial. Si estas dos cantidades fueran diferentes, la aceleración debida a la gravedad podría ser diferente para diferentes cuerpos. Sin embargo experimentos extraordinariamente precisos han establecido que para fines prácticos, los dos tipos de masa son equivalentes.

Comentarios

Aunque para fines prácticos no se hace distinción entre los dos tipos de masa, es importante recalcar lo esencial que es tener una noción clara del significado operacional de los conceptos físicos. Del libro de Einstein e Infeld:

“¿Es la identidad de los dos tipos de masa puramente accidental, o tiene un significado más profundo? La contestación, desde el punto de vista de la física clásica, es: la identidad de las dos masas es accidental y no se le puede dar un significado más profundo. La respuesta de la física moderna es justamente la opuesta: la identidad de las dos masas es fundamental y constituye un dato nuevo y esencial que conduce a una comprensión más profunda de la Naturaleza. Éste fue, de hecho, uno de los datos más importantes de los que surgió la llamada teoría de la relatividad.”

“Una novela de misterio pierde todo su valor si se explican los sucesos extraños que en ella ocurren, como simples accidentes. Es mucho más satisfactorio que se presente un desarrollo racional de los hechos. De igual modo, una teoría que ofrezca una explicación de la identidad entre la masa inercial y la gravitacional es superior a la que interpreta su identidad como simple accidente; a condición, por supuesto, que las dos estén igualmente de acuerdo con la explicación de los hechos que se observan.”

Fuerzas Centrales

La Ley de Gravitación Universal, caracterizada por ser una Ley que describe fuerzas que varían en forma inversa al cuadrado de la distancia, es un ejemplo clásico de un tipo muy importante de fuerzas denominadas centrales, las cuales son puramente radiales respecto a un punto dado, el denominado “centro de fuerzas”. Dichas fuerzas tienen además la propiedad de poseer simetría esférica; esto es, la magnitud de la fuerza depende únicamente de la distancia radial al centro de fuerzas y no de la dirección. Otra característica de especial relevancia de **estas fuerzas es que son conservativas, lo que implica conservación de la energía mecánica.**

Campo gravitacional

El concepto de “campo” en la física surge de los avances conceptuales en la comprensión de la electricidad, el magnetismo y la gravitación y fundamentalmente se relaciona con la modificación que sufre la zona del espacio que rodea a las masas o a los cuerpos cargados. Las características de estos campos pueden visualizarse mediante experimentos muy sencillos.

Si colocamos una hoja de papel sobre el extremo de un imán y colocamos un poco de limadura de hierro sobre la hoja podremos observar que ésta se ordena formando una serie de líneas radiales, con centro en el extremo del imán. Esto nos da la idea de que existe una zona o configuración de fuerza, alrededor del polo del imán. También es fácil visualizar que una mayor concentración de limaduras indica una mayor intensidad del campo.

En el caso de cuerpos masivos, como en el caso de la Tierra, podríamos representar su campo gravitacional por medio de una serie de “**líneas de campo**” (flechas) imaginarias, las cuales estarían más juntas donde la fuerza fuese más intensa. **La dirección del campo en cualquier punto es la dirección de la línea que pasa por dicho punto.**

Una partícula, una nave espacial o cualquier masa en las proximidades de la Tierra, será acelerada en la dirección de la línea de campo que pasa por esa posición. ¿Cómo detectamos la presencia de un campo gravitacional?. Se puede utilizar una masa de prueba m como un detector de un campo gravitacional. Colocamos la masa en varios puntos y en cada uno medimos la fuerza gravitacional sobre la masa. Podemos entonces definir el campo gravitacional g en cada punto como la fuerza gravitacional F_g experimentada por la masa de prueba m en ese punto, dividida por la masa. Así,

$$g = \frac{F_g}{m}$$

Usamos el mismo símbolo que el de la aceleración de la gravedad, ya que el campo gravitacional es igual a la aceleración que experimenta un cuerpo en caída libre.

La intensidad del campo gravitacional de la Tierra es la fuerza por unidad de masa que ésta ejerce sobre cualquier cuerpo.

Formalmente:

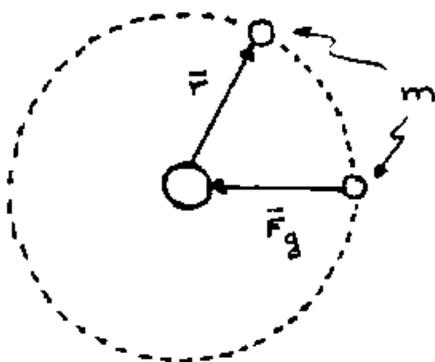


Figura 19. Vector intensidad de campo gravitacional

Para toda m colocada en \vec{r} , la fuerza es la misma. Si \vec{r} disminuye, \vec{F} aumenta. Podemos imaginar que en cada punto del espacio existe un atributo tal, que si $m=1$ se coloca en él, \vec{F}_g está dada. Adicho atributo del espacio producido por una o varias masas, le llamamos campo.

La fuerza es una cantidad *vectorial*, así que el *campo gravitacional* también será una magnitud *vectorial*. Por otro lado habrá que señalar que las fuerzas que generan los *campos gravitacionales* **no** son fuerzas de contacto, sino de *acción a distancia*.

Como es de esperarse, el campo gravitacional varía de punto a punto, de tal manera que este no es una sola cantidad vectorial sino una colección de cantidades vectoriales. Esto es lo que se conoce como un *campo vectorial* y en diferentes partes de la Naturaleza encontramos ejemplos de estos campos vectoriales, como en el caso de un fluido que se transporta en una tubería, donde diferentes partes del fluido tienen diferentes velocidades, por lo que hablaríamos de un *campo de velocidades*. También en el estudio de la electricidad y el magnetismo se trabajará frecuentemente con *campos eléctricos y magnéticos*.

Es importante señalar algunas de las consecuencias de la Ley de Gravitación Universal:

- *Tratamiento de las perturbaciones lunares. Tomó en cuenta la influencia en la trayectoria lunar de las fuerzas gravitatorias de casi todos los cuerpos celestes conocidos en la época y utilizando la ley de gravitación predijo en forma casi perfecta cualquier complejidad del movimiento lunar.*
- *Predijo el periodo aproximado de recurrencia del cometa Halley, considerándolo como un miembro, más del sistema solar, sometido a las leyes de Kepler y a la ley de gravitación.*
- *Explicó la forma que debería tomar cada planeta o satélite, durante su formación y posterior evolución (achatamiento polar).*
- *Explicó los principales rasgos del comportamiento de las mareas.*
- *Sirvió de base para el descubrimiento de nuevos planetas.*