

AC 14 48

El campo gravitatorio, gui3n de Jos3 Luis Lorente, fecha de emisi3n 18 de enero del 80. El campo gravitatorio. En temas anteriores hemos visto que las interacciones fundamentales de la naturaleza son las siguientes, gravitatorias, electromagn3ticas, fuertes y d3biles.

En la emisi3n de hoy se abordar3 el estudio de la primera de ellas, la interacci3n gravitatoria, y se establecer3 el concepto de campo. El estudio de las interacciones gravitatorias puede considerarse como el punto de partida de la f3sica y en general de la ciencia moderna. En efecto, Nicol3s Cop3rnico, a comienzos del siglo XVI, propuso abandonar la concepci3n geoc3ntrica del universo, indicando que todos los planetas de nuestro sistema solar, incluida la Tierra, describen movimientos con relaci3n al Sol.

M3s adelante, a finales del mismo siglo, las medidas efectuadas por Tycho Brahe sobre el movimiento de los cuerpos celestes indujeron a Johannes Kepler a enunciar las leyes que llevan su nombre, referentes al movimiento planetario a saber. Primera, los planetas describen3rbitas el3pticas en torno al Sol que se encuentra en uno de los focos. Segunda, el vector posici3n de un planeta, tomando el sistema de referencia en el Sol, barre3reas iguales en intervalos de tiempo iguales.

Tercera, los cuadrados de los periodos de los movimientos son proporcionales a los cubos de las distancias promedio entre los planetas y el Sol. En realidad, estas leyes emp3ricas pueden deducirse de una forma te3rica a partir de las leyes fundamentales de la mec3nica. Pero no hay que olvidar que esta mec3nica surgi3 precisamente de la necesidad de explicar los movimientos de los astros.

A este respecto, debemos notar que en el contenido de las leyes de Kepler no hay informaci3n alguna acerca de las causas que hacen que los planetas y dem3s cuerpos celestes describan movimientos en la forma indicada por estas leyes. Es decir, las leyes de Kepler dan cuenta de la cinem3tica del movimiento, pero no de su din3mica. Fue Newton quien en el siglo XVII, al enunciar la ley de gravitaci3n universal, explic3 por qu3 los planetas se mueven del modo armonioso en que lo hacen.

As3 pues, como ya hemos venido insistiendo, adem3s de que siguiendo un orden cronol3gico en la historia de la f3sica, es perfectamente razonable acometer el estudio de las interacciones gravitatorias con anterioridad a las restantes fundamentales, no cabr3a hablar, por otro lado, de la f3sica actual sin un conocimiento de la mec3nica newtoniana, que hoy llamamos cl3sica, que marca el comienzo de la f3sica como ciencia positiva y en cuya elaboraci3n tan importante papel jug3 la formulaci3n de la ley de gravitaci3n universal. Las interacciones gravitatorias est3n asociadas a la existencia de la propiedad de la materia que llamamos masa, al igual que las interacciones el3ctricas derivan de la propiedad denominada carga. Ya en otras ocasiones nos hemos referido a la masa como propiedad vinculada a la inercia de los cuerpos.

Veamos si esta noción de masa tiene alguna relación con la actual. Las interacciones gravitatorias están asociadas a la existencia de una propiedad de la materia llamada masa gravitatoria, común a todos los cuerpos. En realidad el término masa ha sido ya introducido cuando estudiábamos los fundamentos de la dinámica, por ejemplo, cuando se establecía la ecuación de movimiento de una partícula.

Sin embargo, esta masa, llamada inercial, tiene evidentemente un significado físico diferente a la de la masa considerada ahora. La masa inercial es la propiedad de la materia según la cual los cuerpos presentan una mayor o menor oposición a cambiar su estado de movimiento, medido este por la velocidad instantánea o el momento lineal bajo la acción de una fuerza que expresa la intensidad de la interacción de este cuerpo con otro u otros. Es decir, esta propiedad expresa la distinta inercia de los cuerpos.

La masa gravitatoria, en cambio, será aquella propiedad de la materia en virtud de la cual los cuerpos interactúan atractivamente en la forma definida por la ley de Newton de la gravitación de un modo similar a como los cuerpos cargados eléctricamente interactúan en la manera indicada por la ley de Coulomb. De todas formas, aunque masa inercial y masa gravitatoria sean en principio propiedades diferentes, todas las experiencias evidencian su íntima conexión. Parece lógico que, puesto que la masa gravitatoria es una propiedad común a toda la materia, la fuerza que mide la intensidad de la interacción gravitatoria sea proporcional a la cantidad de materia de uno y otro cuerpo, medida, en cierto modo, por la respectiva masa inercial.

Resulta así que ambas masas, inercial y gravitatoria, serán proporcionales. Además, la relación entre ambas masas debe ser la misma para todos los cuerpos, una vez que hemos aceptado el carácter universal de las interacciones gravitatorias, así como la validez general de las leyes del movimiento. Es posible, entonces, hacer la constante de proporcionalidad igual a la unidad mediante una elección adecuada de las unidades de la masa gravitatoria.

Resultando así que un mismo número, medido con iguales unidades, expresará simultáneamente el valor de ambas masas. Analizaremos a continuación si la masa es o no una propiedad fundamental e inherente de la materia. Conviene notar que todas las consideraciones anteriores tienen su razón de ser en que la masa gravitatoria es una propiedad universal de la materia.

En cambio, estos razonamientos no podrán utilizarse en el caso de las interacciones eléctricas, ya que no todos los cuerpos están cargados eléctricamente por tener en promedio el mismo número de cargas eléctricas positivas y negativas. Todo lo anterior induce, pues, a pensar que, efectivamente, ambas propiedades se encuentran estrechamente vinculadas o tal vez identificadas, por lo que en el futuro hablaremos de masa sin especificar si nos referimos a uno u otro tipo de ella. Veamos ahora qué camino siguió Newton en la generalización de su ley de gravitación universal.

Newton generalizó la ley de gravitación a todos los demás cuerpos que no fueran planetas. Así, él mismo comparó el valor de la aceleración centrípeta de la Luna en su movimiento en torno a

la Tierra con el valor de la aceleración de caída libre de un cuerpo cercano a la superficie terrestre, resultando que ambas aceleraciones son inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias respectivas de la Luna y del cuerpo considerado al centro de la Tierra. La diferencia entre la Luna y el cuerpo es que aquella tiene una energía cinética apropiada que hace posible el movimiento orbital en torno a la Tierra, mientras que el cuerpo no la tiene, por lo que irremediablemente cae a la superficie terrestre.

Sin embargo, el resultado obtenido permite vislumbrar el carácter general de la ley de gravitación que será válida, por tanto, para cuerpos cualesquiera y no sólo para los planetas y demás cuerpos celestes. ¿Pero qué papel juegan las interacciones gravitatorias en la estabilidad de la materia condensada? Puede decirse que las interacciones gravitatorias no tienen relevancia en la estabilidad de la materia condensada. Estas interacciones son mucho más débiles que las electromagnéticas y en la práctica sólo son relevantes en aquellos casos en que las masas implicadas sean considerables y que además suelen corresponder a cuerpos eléctricamente neutros.

Como ejemplo, conociendo las masas de la Tierra y de la Luna y su distancia media, deducimos que la fuerza de interacción tiene un valor realmente importante, igual aproximadamente a 2 por 10 elevado a 20 newtons. Si consideramos ahora un átomo de hidrógeno, el valor de la fuerza de interacción gravitatoria entre el protón y el electrón podrá determinarse como antes conociendo sus masas respectivas y el radio de la órbita electrónica que suponemos circular. El resultado es que la fuerza es de unos 4 por 10 elevado a menos 47 newtons, valor prácticamente despreciable, puesto que la fuerza electrostática inexistente en el caso anterior es ahora del orden de 3 por 10 elevado a 39 veces mayor que la fuerza gravitatoria.

Tenemos pues un indicio, corroborado en otros muchos casos, de que las interacciones gravitatorias no juegan un papel importante en la estabilidad de la materia en sus diferentes estados de agregación. En realidad, las fuerzas directamente responsables de la estabilidad de átomos, moléculas, líquidos y sólidos son de naturaleza electromagnética, mientras que la estabilidad de los núcleos atómicos está asegurada por otro tipo de fuerzas, caracterizadas por su corto alcance y gran intensidad. Lo que hemos dicho no presupone, ni mucho menos, que las interacciones gravitatorias no desempeñen un papel importante en la naturaleza.

Aparte de ser las responsables del movimiento sumamente armónico de los astros, son igualmente responsables de muchos fenómenos de la vida cotidiana. Basta recordar, por ejemplo, que la formación de mareas es consecuencia directa de las interacciones gravitatorias de la Tierra con la Luna y el Sol. Hasta aquí, y a pesar de que el título del tema que nos ocupa es el campo gravitatorio, no hemos hablado del concepto de campo, ciñéndonos tan solo a comentar ciertos aspectos de las interacciones gravitatorias.

Conviene aclarar ahora la noción de campo. Recuerde por un momento la definición que se da en el texto de intensidad de un campo de fuerzas. En ella se entiende por campo aquella región del espacio en la que es posible establecer una correspondencia unívoca entre los puntos de

ese espacio y las fuerzas susceptibles de actuar sobre una partícula dada, situada sucesivamente en dichos puntos.

Como observará, podemos expresar la ley de Coulomb de interacción entre cargas puntuales y, análogamente, la ley de Newton de interacción entre masas puntuales en términos de la intensidad de campo. Tal cambio de notación, merced a la definición de esta intensidad de campo gravitatorio o eléctrico, puede parecer a primera vista que no presenta otras ventajas que las derivadas de una mayor concisión en las expresiones de las fuerzas de interacción con relación a su forma primitiva. Sin embargo, el paso de un formalismo a otro no supone tan sólo un cambio meramente matemático en las fórmulas, sino que, fundamentalmente, encierra una revisión drástica de la concepción física del fenómeno de las interacciones entre partículas.

En efecto, pensemos que las fuerzas ejercidas mutuamente entre una y otra partícula no pueden aparecer de forma simultánea, tal como supuso Newton, considerando tan sólo la ley de acción y reacción. Aceptar este hecho sin reservas equivaldría a asegurar que la propagación de la interacción tiene lugar a una velocidad infinita. Es, por otra parte, de sobra conocido, según previene la teoría de la relatividad de Einstein, en su segundo postulado, que la velocidad de transmisión de cualquier señal portadora de energía tiene un valor límite no superable que es el de la velocidad de propagación de la luz en el vacío.

Por consiguiente, la hipótesis de una interacción instantánea a distancia debe ser desechada. De esta forma, entre la acción de una partícula sobre otra y la reacción de ésta sobre la primera, debe mediar un tiempo de respuesta evidentemente finito si la distancia de separación entre ambas partículas es igualmente finita, pero no será un tiempo nulo en ningún caso. Si ahora situamos otra partícula con análogas propiedades materiales a las de la primera y suficientemente próxima a ésta, los estados dinámicos de ambas se verán afectados por la presencia de la nueva partícula.

En realidad, lo que ha ocurrido es que ha aparecido una interacción entre ellas. Pero aquí nos surgen dos incógnitas. Primera, ¿cuál es el origen de esta interacción si no están en contacto y además se ha descartado la posibilidad de una acción instantánea a distancia? Y segunda, si ambas partículas están en el vacío, ¿cómo se propaga la acción con la aparición de la reacción subsiguiente en ausencia de un soporte material? La respuesta a estas cuestiones capitales la da una teoría, la teoría de los campos, nacida en el siglo XIX como fruto, por un lado, de las experiencias de Faraday y Oersted relativas a los fenómenos de inducción electromagnética y, por otro lado, de los trabajos teóricos de Gauss y que es felizmente completada por Maxwell.

Dicha teoría indica que al situar en el espacio vacío una partícula con una propiedad especial y característica, carga, masa, etc., se rompe la estructura del espacio originariamente vacío y que deja de serlo al haber introducido en él la referida partícula. Esta ruptura o deformación del espacio hace que éste deje de ser euclideo, es decir, homogéneo e isotropo. La partícula, no obstante, se mueve libremente si es que es la única que se encuentra presente en el espacio.

Podemos pensar, pues, que, en principio, la partícula no se ve afectada por la perturbación o

deformación del espacio que ella misma provoca. Queda así establecido un campo, un campo de fuerzas. Lo mismo sucederá con otra partícula semejante que creará, a su vez, su propio campo.

En resumen, la acción que ejerce sobre una partícula el campo creado por otra se manifiesta en la interacción entre ambas. O dicho de otra forma, las partículas interactúan a través de los campos creados por ellas. Subtítulos realizados por la comunidad de Amara.org