

AC 14 10

La dinámica estudia las causas del movimiento de los cuerpos, el porqué de su existencia, completando y perfeccionando de este modo a la cinemática, que se limitaba a una mera descripción formal de estos movimientos. El curso alcanza en el presente tema una culminación de desarrollo lógico, puesto que hasta ahora habíamos considerado el razonamiento científico, básico en todas las ciencias, la medición, común a todas las ciencias experimentales, y el movimiento cinemáticamente hablando, es decir, desde un punto de vista eminentemente geométrico. Ahora culminamos este proceso, indagando las causas de un fenómeno concreto, el del movimiento.

Con ello, cerramos el ciclo de análisis lógico en lo que concierne, claro está, a este fenómeno. Podemos así volver al primer tema y utilizar los principios básicos de trabajo de la filosofía natural, especialmente el principio de causalidad. Vemos, pues, que los cuatro primeros temas de nuestra unidad didáctica constituyen una entidad lógica autocontenida, que será completada con los dos siguientes temas.

Conocemos los principios del razonamiento científico. Sabemos medir magnitudes físicas, disponiendo de herramientas matemáticas. Para ello, hemos estudiado el marco de representación del movimiento, así como sus principales características, y después de este tema, estaremos en condiciones de relacionar los fenómenos cinemáticos con sus causas, descritas genéricamente bajo el denominativo de fuerzas.

Nuestro tema consta de tres apartados o preguntas principales. Concepto de fuerza, medida de la masa y peso, y, finalmente, el principio de acción y reacción. En él, son fundamentales las tres leyes o principios de Newton, así como la noción de masa inercial de los cuerpos, cuya medida como medida de su respuesta mecánica a las fuerzas a que se hayan sometidos.

Consideraremos, además, dos tipos de interacciones o fuerzas fundamentales, la gravitatoria y la eléctrica, e introducimos, igualmente, algunos mecanismos y sistemas sencillos para la ilustración de la teoría, tales como la máquina de Atwood, la balanza, el dinamómetro y el péndulo simple. Este es un tema de la mayor importancia para la correcta asimilación del resto del curso, por lo que el alumno deberá prestar una especial atención a su estudio y resolver los ejercicios de autocomprobación procurando alcanzar una perfecta comprensión de los mismos. Comencemos por el principio.

La primera ley de Newton, llamada de la inercia, establece que en ausencia de fuerza no hay aceleración. ¿Por qué tomamos precisamente a la aceleración, y no a otra magnitud cualquiera, por ejemplo la velocidad, para la medida del efecto experimentado por los cuerpos al sufrir una fuerza, como causa? Por otra parte, hablamos de partícula o de cuerpo libre para el cual se verifica esta ley. ¿Pero existe en realidad tal partícula libre en el universo? Una partícula libre es aquella que no está sujeta a interacción alguna.

Estrictamente no existe tal cosa, ya que toda partícula está sujeta a interacciones con el resto del universo. Luego, una partícula libre deberá estar completamente aislada o ser la única existente. Pero entonces sería imposible observarla, porque en el proceso de la observación debe haber siempre, debe existir una interacción entre observador y partícula.

En la práctica, sin embargo, hay algunas partículas que podemos considerar libres, ya sea porque se encuentran suficientemente lejos de otras y sus interacciones son despreciables, o porque estas interacciones se cancelan dando una interacción neta nula. Consideremos ahora la ley de inercia, la cual establece que una partícula libre se mueve siempre con velocidad constante, o lo que es lo mismo sin aceleración. Esto es, una partícula se mueve en línea recta con una velocidad constante o se encuentra en reposo, es decir, con velocidad cero.

Esta proposición se denomina la primera ley de Newton, porque fue inicialmente propuesta por Sir Isaac Newton. Es la primera de las tres leyes que él enunciara en el siglo XVII. Nosotros recordamos del tema anterior que el movimiento es relativo.

Luego, cuando enunciamos la ley de la inercia, debemos indicar con respecto a quién o a qué se refiere el movimiento de la partícula libre, razón por la cual la velocidad no constituye una medida adecuada del efecto producido por las fuerzas. Pasemos a continuación a la siguiente ley que establece la proporcionalidad entre la fuerza como causa y la aceleración como efecto de la interacción sufrida por el cuerpo estudiado y el resto del universo. Esta es la llamada ley fundamental de la dinámica y también segunda ley de Newton.

La relación entre causa y efecto está dada por medio de la masa del cuerpo que mide su inercia. ¿Podría aclararnos este concepto de inercia? Cuando es necesaria una gran fuerza para aumentar o disminuir la velocidad de un cuerpo o bien para desviarlo lateralmente si está ya moviéndose, la masa del cuerpo es grande. En el lenguaje ordinario diríamos que el cuerpo tiene una gran inercia.

Si sólo es necesaria una pequeña fuerza por unidad de aceleración, la masa es pequeña y la inercia también. Puede considerarse, por tanto, que la masa de un cuerpo representa de modo cuantitativo la propiedad de la materia que se describe cualitativamente con la palabra inercia. Es decir, la resistencia que oponen los cuerpos a cambiar su estatus cinemático.

Todo cambio en la naturaleza cuesta algo, exige un esfuerzo, porque los cuerpos tienden a mantenerse en la situación en que se hallan, mejor dicho, responden a la interacción sufrida. Pero esta respuesta puede llegar a ser muy pequeña, incluso despreciable, si su inercia es grande. Pongamos un ejemplo.

Un cuerpo, en presencia de la Tierra, es atraído hacia ella. Experimentando, como efecto de dicha atracción, una aceleración, la de la gravedad, de 9,8 metros por segundo al cuadrado. Ahora bien, la interacción Tierra-Cuerpo es recíproca.

También la Tierra debería acelerarse hacia el cuerpo, pero este efecto es, sin embargo,

inobservable. Evidentemente, si aplicamos la ecuación 4.14, correspondiente a la ley de la gravitación universal, aplicándola a la Tierra, observaríamos que su aceleración, debido a la presencia del cuerpo considerado, sería, en nuestro sistema de unidades, 9,8 por la relación de masas existente entre el cuerpo y la Tierra. Así, si la masa del cuerpo es de 1 kg y como la de la Tierra es de unos 6 por 10 elevado a 24 kg, la mencionada aceleración sería totalmente inapreciable.

¿Y qué representa físicamente el peso de un cuerpo y cómo puede medirse? El peso de un cuerpo representa la fuerza gravitatoria ejercida por la Tierra sobre él. Cuando un cuerpo es abandonado y se le deja caer libremente, la única fuerza que actúa sobre él es su peso, y su aceleración es la de cualquier cuerpo que cae libremente, es decir, la aceleración de la gravedad g minúscula. Su masa será entonces igual al cociente entre el peso y la mencionada aceleración de la gravedad.

Puesto que el peso de un cuerpo es una fuerza, en el sistema internacional se expresa en newtons. Un newton es igual a la fuerza requerida para comunicar a un cuerpo de 1 kg de masa una aceleración de 1 m por segundo al cuadrado. Con respecto a la medición del peso, como de cualquier otra fuerza, debemos tener presente que la segunda ecuación de newton, fuerza igual masa por aceleración, introduce dos nuevas magnitudes físicas no presentes en la cinemática, la masa y la fuerza, por lo que resulta insuficiente para la definición simultánea de ambas.

Efectivamente, todo nuevo concepto físico exige su definición en términos de conceptos primitivos ya introducidos, como sucedía, por ejemplo, con la aceleración definida como cociente entre una velocidad y un tiempo. La masa fue, de hecho, introducida en el tema segundo como magnitud fundamental, asociándola a la cantidad de materia poseída por los cuerpos y definiendo un cuerpo de masa, unidad o kilogramo patrón. Sin embargo, queda todavía pendiente la cuestión ¿cómo medir las masas de distintos cuerpos? Como otras muchas magnitudes físicas, la masa de un cuerpo puede determinarse por varios métodos distintos.

Uno de ellos consiste en utilizar la ecuación por la cual ha sido definida la magnitud y que, en este caso, es la razón de la fuerza que actúa sobre un cuerpo por su aceleración. Se aplica al cuerpo una fuerza conocida, se mide su aceleración y se obtiene la masa desconocida dividiendo la fuerza por la aceleración. Este método, sin embargo, es engorroso y a la vez inexacto por la dificultad de efectuar medidas precisas de la aceleración del cuerpo, aparte de la dificultad ya indicada y que tampoco disponemos aún de un procedimiento adecuado para la medida de fuerzas.

Afortunadamente, viene nuestra ayuda a la primera ley de Newton o ley de la inercia. Dos fuerzas iguales y opuestas se neutralizarán mutuamente produciendo el equilibrio del cuerpo sobre el que actúan. Si éste se encontraba inicialmente en reposo, seguirá estándolo tras la aplicación de dichas fuerzas.

Este es el fundamento de la balanza de la máquina de Atwood y de otros instrumentos de

medida de masas como el dinamómetro. Consideremos en particular la balanza con objeto de determinar cuándo dos masas son iguales. Se recordará que en un punto dado de la superficie terrestre todos los cuerpos caen libremente con la misma aceleración g minúscula.

Puesto que el peso de un cuerpo es igual al producto de su masa por la aceleración g , se deduce que si en el mismo punto los pesos de dos cuerpos son iguales también sus masas coincidirán. La balanza de brazos iguales es un instrumento por medio del cual se puede determinar con mucha precisión cuándo son iguales los pesos de dos cuerpos y, por consiguiente, cuándo lo son sus masas. La parte esencial de la balanza es una palanca ligera, rígida, sobre la cual están montadas sólidamente tres cuchillas igualmente espaciadas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje longitudinal de la palanca.

Para usar la balanza se coloca el cuerpo de masa desconocida m_1 en el platillo, por ejemplo, de la izquierda colocando en el de la derecha un conjunto de masas m_2 conocidas. Si los pesos totales de los dos cuerpos son exactamente iguales, permanece en equilibrio estable y en posición horizontal bajo la acción de las dos fuerzas paralelas correspondientes. Entonces, el peso del cuerpo desconocido es igual al de los cuerpos colocados en el platillo derecho y, por lo tanto, las masas m_1 y m_2 coincidirán.

Queda ahora la cuestión de cómo se obtiene un conjunto de cuerpos de masas conocidas, denominado corrientemente caja de pesas. Esto se logra también con la balanza de brazos iguales. Comencemos con un kilogramo patrón y construyamos dos cuerpos cuyas masas sean iguales y tales que entre ambas equilibren justamente el kilogramo patrón.

Cada una de estas tiene entonces una masa de medio kilogramo. Por un procedimiento análogo pueden construirse otros múltiplos o submúltiplos del patrón. La máquina de Atwood, como ya se indicaba en el texto, consiste en una polea por la que se hace pasar un hilo inextensible y de masa despreciable de cuyos extremos se suspenden dos cuerpos, uno de masa patrón y otro de masa desconocida, que coincidirá con la patrón cuando el sistema se halla en equilibrio, al actuar entonces fuerzas iguales y antagónicas sobre ambos extremos del hilo.

Finalmente, un dinamómetro consiste en un resorte que se equilibra gracias a la acción conjunta de un peso colgado en su extremo inferior y de la fuerza de restitución elástica, que trata de impedir el alargamiento del resorte más allá de la longitud natural del mismo. Hemos hablado de dos leyes o principios de Newton, de la primera y segunda. Quizá para completar el cuadro conviniese hablar ahora un poco de la tercera, también conocida con el nombre de Ley de Acción y Reacción.

Perfectamente. En primer lugar, digamos que esta ley resulta imprescindible en el estudio de sistemas complejos constituidos por dos o más componentes. Surge como las dos anteriores de la experiencia, al observar una serie de interacciones básicas.

Así, por ejemplo, en el caso de la atracción gravitatoria de los cuerpos, dos masas cualesquiera

experimentan su mutua atracción, actuando sobre ellas fuerzas iguales y opuestas, una de ellas denominada acción y la otra reacción. Ahora bien, la palabra reacción puede resultar poco afortunada, ya que parece indicar que se trata de una respuesta a la acción, mientras que ambas fuerzas aparecen simultáneamente al poner los cuerpos en presencia uno del otro. Lo importante es destacar que toda fuerza aplicada sobre un cuerpo tiene su contrapartida, llamémosle reacción, en otra fuerza que este cuerpo ejercerá sobre aquel que lo perturbó.

Los ejemplos y aplicaciones físicas de esta ley son numerosos. Así, por ejemplo, en el texto analizamos el movimiento de un péndulo simple, es decir, de una partícula suspendida de un punto fijo por mediación de un hilo inextensible de masa despreciable. ¿Pero qué fuerzas actúan sobre la partícula o masa pendular? Un examen superficial del problema podría indicarnos que solamente su peso.

Esto es evidentemente falso, ya que en este supuesto la partícula caería verticalmente. Si describe un arco de circunferencia de radio igual a la longitud del hilo, es porque junto al peso actúa otra fuerza, de modo que la resultante de ambas esté dirigida según la tangente a la trayectoria circular descrita. Esta segunda fuerza es precisamente la reacción del hilo sobre la partícula a la acción ejercida por ésta al mantenerle tenso.

¿Cuáles son las interacciones fundamentales, además de la gravitatoria? Son varias las preguntas que usted me formula, por lo que las contestaré ordenadamente. En primer lugar diremos que la ley de la gravitación universal fue descubierta por ser Isaac Newton y publicada por primera vez en el año 1686. Puede enunciarse de este modo.

Toda partícula de materia del universo atrae a cualquier otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de las masas de ambas partículas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. La constante de proporcionalidad g constituye una cantidad inamovible o constante universal, cuyo valor y dimensiones damos en el texto. No parece muy seguro que Newton llegase a deducir esta ley a partir de especulaciones concernientes a la caída a tierra de una manzana.

Los primeros trabajos que dio a conocer para justificar su ley se refieren al movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. El valor numérico de la constante g depende de las unidades que se utilicen para medir fuerzas, masas y distancias. Su valor puede obtenerse experimentalmente midiendo la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos de masas dadas situados a distancia conocida.

Para cuerpos de tamaño moderado la fuerza es extremadamente pequeña, pero puede medirse con un dispositivo ideado por Henry Cavendish en 1793. El mismo tipo de aparato fue utilizado también por Coulomb para estudiar las fuerzas de atracción y repulsión eléctrica y magnética. La fuerza de Coulomb ejercida entre dos cargas eléctricas es también directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia mutua.

Sin embargo, esta fuerza puede ser tanto atractiva cuando las dos cargas son de distinto signo como repulsiva cuando son del mismo signo. La interacción gravitatoria, por el contrario, es siempre de tipo atractivo. Ambas interacciones, la eléctrica y la gravitatoria, son fundamentales en el sentido de que responden a fuerzas básicas ejercidas entre partículas elementales de la naturaleza y no a promedios más o menos enmascarados de interacciones elementales como pueden ser, por ejemplo, la fuerza de rozamiento o la fuerza de recuperación elástica de un muelle.

Existen aún otras dos interacciones fundamentales, ambas dentro del dominio de la física nuclear, las llamadas fuertes, que justifican la estabilidad de los núcleos atómicos y las débiles, presentes en algunas reacciones nucleares. Es decir, que átomos, moléculas, cristales, sistemas planetarios, estrellas, etc., pueden describirse a partir de sólo estos dos tipos de fuerzas, gravitatorias y eléctricas. Estas segundas son de una intensidad enormemente superior a las primeras y sólo son apreciables cuando los cuerpos son superiores a las primeras, que sólo son apreciables cuando los cuerpos considerados son de masa muy grande, es decir, cuando por lo menos uno de ellos es una estrella o un planeta.

El ejercicio de autocomprobación número 2 ilustra precisamente este importante aspecto. ¿Es la aceleración de la gravedad siempre efectivamente constante? Y si no lo es, ¿cuándo debemos tener presente la posible variación? Evidentemente, la aceleración de la gravedad no es constante y así oímos hablar frecuentemente de la ingravidez de los astronautas en los viajes espaciales. El valor de 9,8 metros por segundo al cuadrado debe entenderse naturalmente sobre la superficie terrestre.

Y esto sólo en primera aproximación, sin tener en cuenta los efectos de la falta de esfericidad de la Tierra y las aceleraciones centrífugas y de Coriolis que por simplicidad omitimos en nuestro curso. El valor de la aceleración de la gravedad, que damos en el texto, es igual al producto de la constante gravitación universal G mayúscula por la masa de la Tierra y dividido por el cuadrado de la distancia del cuerpo considerado al centro de la Tierra. Puesto que tanto G mayúscula como M mayúscula son constantes, la aceleración de la gravedad disminuye al aumentar la distancia desde el centro de la Tierra.

Y sólo es aproximadamente cierto que un cuerpo caiga hacia la Tierra con aceleración constante en las proximidades de esta superficie terrestre. En realidad, la aceleración aumenta incesantemente cuando el cuerpo se aproxima a la Tierra si se desprecia la resistencia del aire. Para la mayor parte de los fines, esta variación es sin embargo despreciable.

A título informativo, digamos que la aceleración de la gravedad en Madrid a 655 metros de altitud y en Nueva York, a nivel del mar, difieren en sólo cuatro milésimas de metro por segundo al cuadrado. Es decir, una variación relativa del 0,4 por mil. En el caso gravitatorio, la causa y el efecto se hallan distantes, o mejor dicho, por ejemplo, en la interacción entre dos astros su distancia mutua es enorme.

¿Cómo puede armonizarse este hecho con el atributo de contigüedad entre sujeto y objeto

actuante que exige el principio de causalidad? Efectivamente, el principio de causalidad de la filosofía natural exige la antecendencia y la contigüedad de causa y efecto. Sin embargo, no hemos dicho cómo el Sol ejerce su atracción gravitatoria sobre la Tierra. No hemos descrito el mecanismo minucioso de dicha interacción.

Nos hemos reducido a una ley fenomenológica, la propia de la gravitación universal de Newton, que sólo es aproximada. Modernamente se admite un proceso de interacción basado en el concepto de campo, que no anticiparemos aquí pues deberá ser tratado extensamente en el tema 12, es decir, al finalizar la segunda unidad didáctica del curso. El campo actúa de auténtico soporte o vehículo conductor de la interacción, reestableciendo de este modo el carácter contiguo de esta interacción.

No obstante, una comprensión de este proceso exige hablar previamente de la energía, por lo cual no nos es posible ahora dar más detalles. Solamente digamos que son ciertas partículas elementales, los fotones en el caso eléctrico y los gravitones en el gravitatorio, quienes aportan la señal y más precisamente la energía entre los cuerpos que interactúan. Como la velocidad de estas partículas, de acuerdo con el principio de relatividad de Einstein, es finita, no pudiendo rebasar el valor de la velocidad de la luz en el vacío, también se respeta el atributo de antecendencia, ya que la acción tiene un retraso en su actuación, correspondiente al tiempo necesario para que fotones o gravitones viajen de un cuerpo al otro.

Por lo que usted dice, parece ser que la mecánica de Newton no es correcta, debiendo reemplazarse por la de Einstein. No hubiese sido más razonable el haber comenzado con teorías actualizadas en lugar de remontarnos a trabajos históricos que datan de más de 200 años? Creemos que no. La historia de la ciencia es imprescindible para conocer dónde nos hallamos actualmente en nuestra aventura científica y qué caminos y posibilidades se nos van a abrir en el futuro.

Pero no es sólo esto. El carácter formativo que poseen los distintos descubrimientos científicos es enorme. Nos muestran la forma de actuación del científico, la estructuración del razonamiento en las ciencias de la naturaleza.

Y esto es precisamente el objetivo primordial de nuestro curso. Aparte de que las teorías de Newton siguen vigentes en la inmensa mayoría de las aplicaciones cotidianas. La máquina de vapor, el automóvil, el telégrafo, el teléfono, etc., se inventaron antes de que Einstein formulase su famosa teoría de la relatividad, sin la cual, que duda cabe, no podrían haberse construido por otra parte reactores nucleares ni desarrollarse el programa de viajes espaciales.

Con ello, queremos decir que los nuevos avances científicos, y en especial los de nuestro ciclo, han constituido correcciones, perfeccionamientos, en general de segundo orden de magnitud, de teorías previamente existentes, sobre las que se han apoyado buena parte de las nuevas. No hemos, pues, de mirar con desdén a las teorías clásicas, pues quizá algún día las propias teorías relativistas pasen a ser ellas mismas clásicas. Además, aparte de las concepciones relativistas de Einstein y cuánticas de Planck y de Bohr, aparecidas a principios de este siglo,

nada, aparte de estas concepciones, nada rigurosamente fundamental ha aparecido en el panorama científico en los últimos 50 años, en los que hemos estado viviendo fundamentalmente de las rentas del siglo pasado y de la primera veintena de este.

Ha sido la tecnología y no la ciencia, a diferencia de lo que venía sucediendo tradicionalmente la pionera de descubrimientos al aplicar resultados subyacentes tras las teorías originales. Por ello, insistimos una vez más en la importancia y conveniencia de iniciar los estudios científicos por las teorías clásicas y analizar cuidadosamente el desarrollo del pensamiento científico en los dos o trescientos últimos años. Acaban ustedes de escuchar Ciencias físico-naturales, tema cuarto, autodinámica, por el profesor don José Luis Lorente Guarch.

Ha sido un tema introductorio a la carrera universitaria de Ciencias físico-naturales. Nos despedimos de ustedes hasta mañana miércoles a esta misma hora en que podrán ustedes escuchar Lengua Española e Introducción a la Carrera de Derecho, temas de los que son autores los profesores don Manuel Criado de Bal y don Rafael Gibert y Sánchez de la Vega, respectivamente. El tercer programa de Radio Nacional de España les ha ofrecido Universidad Nacional de Educación a Distancia En su emisión diaria ha sido un espacio universitario preparado por su claustro de profesores y adaptado y presentado radiofónicamente por el tercer programa de Radio Nacional de España.

Subtítulos realizados por la comunidad de Amara.org