

AC 14 02

Curso de mayores de 25 años. Introducción a las ciencias físico-naturales. Cuarta emisión radiofónica.

Dinámica. Por el profesor doctor don José Luis Lorente Huarch. La presente emisión titulada Dinámica, parece ser que se refiere al cuarto tema del programa de igual nombre.

¿Podría sintetizarnos los principales objetivos del mismo, así como su conexión con los temas anteriormente tratados? Con mucho gusto. 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, basado en todas las ciencias, básico en todas las ciencias, la medición común a 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 en 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, como medida de su respuesta mecánica a las fuerzas a que se hayan sometidos.

Consideremos, además, dos tipos de interacciones, fuerzas fundamentales, la gravitatoria y la eléctrica, y introducimos 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 partícula existente. Pero entonces sería imposible observarla, porque en el proceso de la observación hay siempre una interacción entre el observador y la 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 las interacciones con las otras partículas 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 libre 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 ser Isaac Newton. Es la primera de las tres leyes por él enunciadas 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? Bien. 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 pequeña. 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 se ha traído hacia ella, experimentando como efecto de dicha atracción una aceleración, la de la gravedad, de $9,8 \text{ m/s}^2$ por segundo al cuadrado. Ahora bien, la interacción Tierra-Cuerpo es recíproca.

También la Tierra debería acelerarse hacia el cuerpo, pero este efecto es inobservable. Evidentemente, si aplicamos la ecuación 4.14, correspondiente a la ley de la gravitación universal, a la Tierra observaríamos que su aceleración, debido a la presencia del cuerpo considerado, sería nuestro sistema de unidades $9,8 \text{ m/s}^2$, por la relación de masas existentes entre el cuerpo y la Tierra. Así, si la masa del cuerpo es de 1 kg , como la de la Tierra es de unos $6 \times 10^{24} \text{ kg}$, la mencionada aceleración sería totalmente inapreciable.

¿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, ha de expresarse en unidades de fuerza. Así, 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/s^2 .

Con respecto a la medición del peso, como de cualquier otra fuerza, debemos tener presente que la segunda ecuación de newton, fuerza igual a masa por aceleración, introduce dos nuevas magnitudes físicas, no presentes en 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 2 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 la masa 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 es, en este caso, la razón de la fuerza que actúa sobre un cuerpo a 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, de que tampoco disponemos aún de un procedimiento adecuado para la medida de fuerzas. Afortunadamente, viene nuestra ayuda a la primera ley de Newton, la 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 como instrumento de medida de masas y del dinamómetro.

Hemos hablado de dos leyes o principios de Newton, la primera y la segunda. Quizá, para completar el cuadro, conveniese hablar ahora un poco de la tercera, también conocida como 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 se denomina acción y la otra reacción. Ahora bien, la palabra reacción puede resultar un poco afortunada, ya que parece indicar que se trata de una respuesta a la acción, mientras que ambas fuerzas aparecen simultáneamente al estar los cuerpos en presencia uno del otro. Lo importante es destacar que toda fuerza aplicada sobre un cuerpo tiene su contrapartida, o llamémosle reacción, en otra fuerza que este cuerpo ejercerá a su vez sobre aquel que lo perturbó.

Los ejemplos y aplicaciones físicas de esta ley son numerosísimos. 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 y 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.

Reacción a la acción ejercida por éste al mantener el hilo tenso. Ha mencionado usted la atracción gravitatoria de los cuerpos. ¿Podría comentar esta importante ley y, al mismo tiempo, qué entiende por interacciones fundamentales o básicas en la naturaleza? ¿Existen otras 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 Sir Isaac Newton y publicada por primera vez por éste en 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 e inversamente proporcional al

cuadrado de la distancia que las separa.

La constante proporcionalidad G mayúscula constituye una cantidad inamovible o constante universal cuyo valor y dimensión estamos en el texto. No parece muy seguro que Newton llegase a deducir esta ley a partir de especulaciones concernientes a la caída de una manzana a Tierra. 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 mayúscula 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 Sir Henry Cavendish en 1793.

El mismo tipo de aparato fue ya utilizado 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 sus distancias mutuas. De su distancia mutua, queremos decir.

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 dos tipos de fuerzas, las gravitatorias y las eléctricas. Estas segundas son de una intensidad enormemente superior a las primeras y sólo son apreciables cuando los cuerpos considerados son de masa muy grande, es decir, cuando por lo menos uno de los dos cuerpos en interacción es un planeta o una estrella.

El ejercicio autocomprobación número 2 ilustra precisamente este importante comentario.