

cuarenta los grados de movimiento que tuvo la bola. Para ver si me entendeis, suponed ahora que Silvio arroja una bola de hierro, que dentro de un minuto corre cinco varas, y que pesa veinte libras; decidme, ¿cuantos grados tiene de movimiento?

EUQ. — Primeramente he de medir la velocidad, midiendo el espacio que corrió la bola; si anduvo cinco varas ya tenemos velocidad como cinco ó cinco grados de velocidad; por otra parte tenemos veinte libras de peso ó como vos decís de masa; ahora supongo que he de multiplicar un número por otro; cinco veces veinte son ciento; luego tenemos averiguado que son ciento los grados de movimiento. ¿Acerté en la cuenta, Teodosio, ó me equivoqué en ella?

TEOD. — Acertasteis, y quedad persuadido que esta materia no tiene mas dificultad que la de saber contar bien. Ahora ya podeis apreciar lo que son las pretendidas fuerzas muertas y la fuerza de inercia de Silvio. Si la fuerza de un hombre se emplea para mover una peña fija en la montaña, es evidente que, siendo la masa de molécula infinita, la velocidad ó el movimiento impreso en la peña por la fuerza del hombre ha de ser pequesísimo é insensible, puesto que esta fuerza se ha tenido que repartir en aquella masa infinita de moléculas, y ninguna se ha movido por ser incapaz de hacerlas mudar de puesto la infinitísima parte de fuerza que le ha llegado. La peña se quedará en reposo, pero la fuerza, por esto, no ha dejado de ser viva como lo es en cualquiera otro caso: la prueba está, en que si esta peña hubiese estado en equilibrio como un

bajel en el mar, prolongando su accion el hombre hubiese acabado por producir un movimiento sensible. Iguales consideraciones esplican la supuesta fuerza de la inercia. Suponed que la mano que hace rodar el tonel representa una masa como uno, y que es movida por vuestra voluntad representando una fuerza que pueda imprimirle una velocidad como 100: si aplicais vuestra mano al tonel que representa una masa como 99, la masa total que se ha de mover es ciento; la velocidad pues será uno; porque las cien partes de masa se han repartido en los cien grados de velocidad, y cada parte tiene un grado; con lo cual se demuestra claramente que no es una resistencia de parte del cuerpo, ó una fuerza de inercia la que causa este retardo, sino el reparto de la fuerza de impulsión por entre todas las partes de la masa. ¿Os queda alguna duda sobre este asunto?

EUQ. — Estoy completamente convencido, y si no hay mas que decir sobre la intensidad de la fuerza ya podeis pasar á otro punto.

TEOD. — Aun quiero deciros algo de la accion y reaccion, porque esto es sumamente util para comprender las leyes de la mecánica. Cuando una fuerza obra sobre un cuerpo hay accion; este cuerpo estaba en reposo obedeciendo á una fuerza que le tenia en tal estado; para sacarle de este estado ha sido necesario vencer con una accion la accion de esta fuerza contraria á la del movimiento: la accion de esta fuerza contraria es la reaccion. Os voy á citar una porcion de ejemplos para probaros que no hay *accion sin reaccion*. Cuando un peso está pendiente de una cuerda atada á un clavo, sabemos que el



peso tiene su accion en tirar de la cuerda hácia abajo; pero el clavo hace la reaccion deteniendo la cuerda para que no baje.

Un caballo que tira de una carroza hace la accion para llevar el peso; pero el peso hace reaccion, resistiendo al caballo, cansándole y destruyéndole las fuerzas.

Un barquero que estando en su barco le quiere apartar de la playa, y hace con su vara fuerza contra la tierra, tiene su accion; pero la tierra que resiste y no cede hace la reaccion contra el barquero. De suerte que si la tierra no resistiera no haria efecto alguno la accion del barquero.

Cuando un hombre da con la mano un grande golpe en la pared, esta le ofende y le molesta en la mano, y en este caso la accion es de parte del hombre, y la reaccion de parte de la pared.

Cuando el martillo bate en la bigornia tambien recibe de ella igual efecto; de suerte que con el tiempo queda pulido y hace hojas; y si el martillo fuese de temple mas blando, será en él mas sensible la señal que deja el golpe.

Ahora os diré mas: toda reaccion es igual á su accion. Esta ley se demuestra con la precedente; porque si la accion fuese mayor que la reaccion, ese mismo exceso de accion quedaba sin reaccion correspondiente; de este modo tendríamos accion sin reaccion. Si por el contrario fuese mayor la reaccion como nosotros podemos considerarla con el nombre de accion, poniéndonos de parte del obstáculo que resiste, este exceso de la reaccion vendria á ser una accion parcial á la que no correspondia reaccion al-

guna, lo que se probó ya ser imposible. Probemoslos tambien por hechos: venid acá.

Pongamos dos péndulos de plomo ó barro fresco, y dejando el uno quieto, levantemos el otro para dejarle caer sobre el primero, y en ambos será la señal del golpe enteramente igual. Ahora pues esta señal en A (Fig. 1), se hace por la accion de B, y en B es efecto de la reaccion de A.

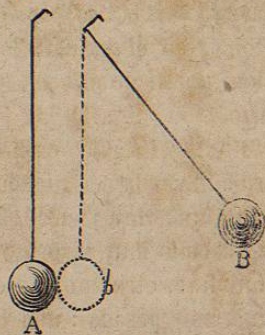


Fig. 1.

Pongamos un péndulo en una regla, y en él un cono B (Fig. 2), que caiga en una caja de barro fresco A (para estas esperiencias usamos la greda, la que se supone fija); levantemos el péndulo á la altura determinada, en cayendo observemos la cavidad que resulta del barro, y se verá que es igual á la fuerza de la accion.

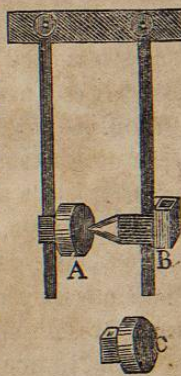


Fig. 2.

Quitemos de la regla el cono B, y pongámosle fijo en el lugar donde estaba el barro A: poniendo la cajita de barro C en el péndulo, esta pesa tanto como pesaba el cono, lo que es facil ajustar, poniendo en la caja del cono B mas ó menos granos de plomo.

Hecha esta preparacion levántese el péndulo á la



misma altura, y dejándole caer se hallará en el barro semejante cavidad. Ahora, pues, en el primer caso la cavidad es la medida de la fuerza de la accion, y en el segundo lo es de la fuerza de reaccion, pues solo el cono quieto inmóvil es el que la hizo.

EUG. — Un poco embrollada me parece esta doctrina al ver la desigualdad de fuerzas que hay en la causa que obra y en el obstáculo que resiste; v. g., un caballo muy vigoroso va tirando de una carga muy leve, otro muy flaco apenas puede arrastrar una muy pesada: una bala de artillería atraviesa una tabla delgada, y otra bala de fusil apenas se entierra en la pared, la que resiste tanto que se burla de ella. Un gigante que resiste á un niño tiene mas fuerza que el niño que resiste al gigante. En todos estos casos y otros semejantes la causa que obra es mas debil ó mas fuerte que el obstáculo que resiste; y esto parece contrario á vuestra doctrina.

TEOD. — Una cosa es la causa que obra, otra la accion de esta causa. Las fuerzas de la causa no son las fuerzas de la accion. El gigante puede tener mil grados de fuerza, y no empleará en la accion sino cuatro ó cinco, pues solo empleará fuerza igual á la que es precisa para destruir las del niño que le resiste: el resto son fuerzas que podrian obrar, pero no obran. El que es hombre rico puede hacer un gasto grande; pero no tiene precision de hacerle mayor que el correspondiente á la obra; y así no es lo mismo tener muchas fuerzas que emplear muchas fuerzas en la accion.

Del mismo modo el obstáculo fortísimo resiste á

proporcion de las fuerzas que empleamos contra él. Si una pared, capaz de resistir con mil fuerzas, es acometida con una piedra tirada con cuatro por un niño, resistirá con otras cuatro, y será la señal del golpe muy leve, quedando destruido el movimiento y fuerzas de la piedra: estas cuatro fuerzas combatiéron de parte á parte, y se destruyeron igualmente, quedando la piedra que obraba sin accion ni fuerza al pie de la pared, y la pared arruinada en una levisima parte.

Supongamos que arrojan contra esta pared una bala con cien grados de fuerza; la pared resistió con otros cien grados, quedando de parte á parte iguales fuerzas; las de la bala, porque quedó enterrada ó cayó muerta al pie de la pared; las de la pared, porque queda desmoronada y destruida en esa pequeña parte.

Pero si una bala de artillería acomete con 4500 grados de fuerza á la pared, esta se arruinará del todo, porque suponemos que solo podia resistir con 4000; pero estas fuerzas de reaccion destruyeron en la accion de la bala otras tantas fuerzas cuantas fueron destruidas por ella; mas aun quedan en la bala 500 grados de fuerza que sirven para la victoria. Así pues nunca confundais las fuerzas que se emplean en la accion con las que no obran, y solo sirven para el triunfo, si puedo espresarme así:

Las fuerzas de la accion son las que obran y se emplean en hacer el efecto, y por consiguiente se consumen: las demas son fuerzas que podrian obrar si fuese preciso; pero no obran: estas son las que deciden de la victoria, y en ellas se ve cual es mas



fuerte de los dos combatientes, si la causa que obró ó el obstáculo que resistió. Con esto, Eugenio, ya me parece que podreis entender cuanto se diga sobre este punto. Vengamos ahora, si os parece, á la direccion de las fuerzas.

EUG. — En cuanto á mí os confieso que me interesais cada vez mas, pues ya voy dándome cuenta de algunos fenómenos.

TEOD. — Siempre que una fuerza obra sobre un cuerpo, y le hace mover, si no hay otra fuerza que se oponga á este movimiento, el cuerpo marcha en linea recta: yo tiro esta bala de un cabo al otro de la sala, y allá se va directamente. Esta linea recta puede representar la direccion de la fuerza; si en vez de una sola fuerza poneis muchas, cuyo conjunto hace mover el cuerpo, se mueve tambien en linea recta. Probemoslo: ahí está este pedazo de hierro con tres cordeles. Silvio tirará de uno, vos de otro, y yo del último; marchemos todos tres hácia el fondo de la sala, tiremos siempre del mismo modo, y el pedazo de hierro seguirá una linea recta como si no lo tirase mas que una fuerza. Manos á la obra.

EUG. — En efecto así ha sido. Pero si yo tiro de este cordel y doy vueltas, bien será preciso que las dé tambien mi pedazo de hierro, y entonces su direccion no será en linea recta, sino curva.

TEOD. — Solo lo es en apariencia pues esta linea curva se compone de una multitud de pequeñas lineas rectas, así podeis asentar que la direccion de las fuerzas es siempre necesariamente rectilínea. Si considerais la direccion entre dos ó muchas fuerzas,

vereis que pueden hallarse en una misma linea pero en oposicion; como si yo tiro del pedazo de hierro por la izquierda y vos por la derecha; en la misma linea y en el mismo sentido; como si vos tirais de este peso, asiendo el cordel á dos palmos de distancia y Silvio á siete del mismo; tambien pueden ser las direcciones en lineas diferentes siendo paralelas, opuestas, ó en el mismo sentido, ó en fin haciendo ángulos entre ellas. Todos estos casos dan margen á efectos resultantes segun leyes que os espodré luego. Como se representa á menudo estas fuerzas por las lineas de sus direcciones, tambien se representa la intensidad de las fuerzas por la longitud de estas lineas: y en efecto pueden las longitudes servir tambien como los números para espresar cantidades relativas: así una linea de diez varas representará en intensidad y direccion una cierta fuerza, y otra linea de veinte varas representará muy bien una fuerza doble en intensidad. Retened bien todo esto, porque nos servirá muchísimo para concebir las leyes del equilibrio y del movimiento.

EUG. — Me parece que no se me ha escapado nada, y lo que nos habeis hecho probar por nosotros mismos bastará para hacérmelo retener. Pasad á otra cosa, si lo juzgais á propósito.

TEOD. — Hablemos pues del tiempo durante el cual está obrando una fuerza sobre un cuerpo para imprimirle un movimiento, pues influye considerablemente sobre el movimiento producido. Si no obra sino por un instante el movimiento que resulta es de un modo, como cuando se da un martillazo; ó



sea con el taco contra una bola de billar; si obra la fuerza por mas tiempo y se aumenta su accion á proporcion que dura, en cuyo caso se llama fuerza *acceleratrix*, el movimiento resultante es ya otro, como cuando un cuerpo viene al suelo; otro será tambien si la fuerza obra durante cierto tiempo y luego abandona el cuerpo á sí mismo, como la que hace salir una bala del cañon, y otro en fin cuando esta fuerza ahora es mayor, ahora menor, como muchas que pudiera citaros. Así cuando hablemos de la aplicacion de estos principios generales á casos particulares, no echaremos en olvido todas estas circunstancias. Vamos á dar fin á estas ideas generales diciendo que cuando dos ó mas fuerzas se aplican simultanea ó sucesivamente á un cuerpo, pueden resultar dos efectos diferentes: el cuerpo puede permanecer inmovil, á pesar de la accion de todas estas fuerzas, ó el cuerpo puede ponerse en movimiento con una velocidad y direccion variables. En el primer caso hay lo que se llama *equilibrio*, y la parte de la mecánica que se ocupa en él es la *estática*; el segundo caso en el cual el cuerpo se pone en movimiento, forma con todas sus circunstancias la parte de la mecánica que se llama *dinámica*. Estos dos efectos generales de que os acabo de hablar estan sometidos á cierto número de leyes simples y fáciles de concebir que permiten prever y calcular todos los casos posibles. Mas antes de esponeros estas leyes quiero hablaros del movimiento, y teniendo las ideas convenientes de las propiedades de la materia de las fuerzas que la mueven, y del resultado de estas fuerzas que es el mismo movimiento.

me seguireis con mas facilidad en la esposicion de las leyes del equilibrio y las de aquel.

## § VII.

Trátase del movimiento y de sus diferencias.

TEOD.—¿Por que decís que se mueve aquel carro que pasa por la carretera, y aquel laud que navega por el rio?

EUG.—Porque le veo mudar de puesto continuamente.

TEOD.—¿Pero cómo conoceis que muda de puesto?

EUG.—¡Toma! esto está claro. Tanto en los lados de la carretera, como en las márgenes del rio hay cien objetos, como casas, cabañas, árboles, etc. que no se mueven de sus sitios, y yo veo el carro y el laud ahora delante de una casa, luego que se alejan de ella, luego que se acercan á un arbol, que pasan mas allá de este; en una palabra comparando su posicion con la de los objetos que lo rodean.

TEOD.—En efecto, es así, y esto es lo que os dará una idea clara del movimiento, el cual consiste en realidad en el paso de un cuerpo del lugar que ocupa á otro, y solo la comparacion con otros que estan fijos ó que se mueven en direccion opuesta puede hacernos apreciar la existencia del movimiento de un cuerpo. Conocemos que el sol, la luna y la estrella de la mañana se mueven, porque al amanecer