

vapor. No nos quedan pues mas que los cuerpos *imponderables*, de los cuales solo os diré aquí que convienen los físicos en llamar los cuerpos, porque de esta suerte se esplican con mas facilidad un sin número de hechos que no pueden esplicarse tan satisfactoriamente de otro modo. Y como pienso entreteneros por estenso de los tres cuerpos imponderables á su debido lugar, no os digo mas ahora en que solo os estoy dando ideas generales ó aplicables á los tratados en particular sucesivos.

## § VI.

Trátase de lo que se entiende por fuerza, y de las fuerzas en general.

TEOD. — Hasta ahora, Eugenio, os he ocupado en las generalidades de la materia, considerándola en reposo; mas esta materia experimenta incesantemente y á nuestra vista diferentes mudanzas en su modo de existir; y como hemos dicho que por sí misma no puede mudar de estado, sino que necesita una fuerza que la haga mudar, pasemos á tratar de lo que se entiende por fuerza y de las fuerzas en general. Todas las mudanzas que sufren los cuerpos se reducen en último resultado á un movimiento, esto es á un paso de las partículas de un lugar á otro, y estas mudanzas se llaman *fenómenos*, las fuerzas que los producen son sus causas. Os

formareis fácilmente una idea clara de lo que es una fuerza, examinándoos á vos mismo, y observando el ejercicio de vuestras facultades. Si levantaís esta silla, la tirais al campo, ó la rompeis con el solo esfuerzo de vuestros brazos, está claro que desplegais una facultad que os es natural y que es propia para determinar movimientos en los demas cuerpos. ¿Y qué es esta facultad sino vuestra fuerza? Ella ha causado mudanzas en la silla, la cual se hubiese estado quieta eternamente á no haber nada que obrase sobre ella, y por la misma razon que vos sentís vuestra fuerza empleada para mover un cuerpo, siempre que veis cuerpos en movimiento debéis suponer que hay fuerzas ó al menos una fuerza que los promueve. Si para levantar una silla haceis un esfuerzo, cuando veis que yo levanto otra, debéis suponer que yo tambien empleo mi fuerza para conseguirlo. Si á pesar de mi esfuerzo viereis que la silla no se mueve, no podriais fermaros una idea de la fuerza, porque faltan sus efectos por los cuales la conocemos, esto es, falta el movimiento que es su resultado.

EUG. — Os confieso que me habeis dado una guia excelente para figurarme lo que es una fuerza, ya me parece ver en la piedra que cae una mano que la tira; en la bola que corre, una mano que la hace correr; en el agua que baja de las montañas, muchas manos que la hacen bajar, y en el péndulo de aquel reloj de pared una á cada lado que se lo envian recíprocamente como la pelota dos niños.

TEOD. — Con tal que no os figureis que haya manos invisibles que tiren, como ideó unos ganchos



cierto filósofo, no me habeis comprendido mal. En efecto vos sabeis que la piedra, la bola, el agua y el péndulo son cuerpos, materia, y por lo mismo incapaces de darse movimiento y de pararse por sí mismos desde luego de movidos : ya que se mueven pues, y se paran á veces, ha de haber fuerzas que produzcan estos movimientos. Los físicos no han podido llegar á penetrar la íntima naturaleza de estas fuerzas ; pero suponen la existencia de cierto número, porque así se dan razon de una infinidad de fenómenos, y con tal que conozcamos sus leyes, poco nos importa saber en que consisten las tales fuerzas. Estas no son todas iguales, las hay que obran sin cesar y en todas partes sobre la materia. En cualquier punto del globo y en cualquier circunstancia que echeis al aire una piedra, siempre se cae al suelo, despues de haber llegado á una altura proporcionada á la fuerza que la lanzó, y á la resistencia que encuentra en su curso. Sobre obrar incesantemente, tienen estas fuerzas una intensidad constante, cuando las circunstancias no varian, y cuanto mayor es la masa de materia sobre que obran, tanto mas intensas son estas fuerzas ; lo contrario sucede cuanto mayor es la distancia de estas masas. Hay otra clase que no obran siempre, que necesitan ciertas circunstancias, y está á nuestro alcance producirlas, modificarlas ó destruirlas. Por ejemplo á aquella máquina eléctrica de donde he hecho salir una chispa que os ha causado una conmocion, si yo quiero la tocareis sin que salga ninguna chispa. En el estado en que os hallais os puedo tocar de arriba abajo, y no saldrá de vos ninguna

centella ; pero si os coloco encima del taburete que está junto á la máquina, y haciéndoos tocar la cadena que cuelga de ella, os cargo de electricidad, sacaré chispas de fuego eléctrico de vuestra nariz, orejas y demas partes donde arrimare un instrumento de metal á propósito para este efecto. Hay en fin otra clase de fuerzas naturales que podriamos llamar *vitales* ú *orgánicas*, porque solo se hallan en los cuerpos vivos. Estas fuerzas, á cuyo influjo se mueven los animales, y nacen, se nutren y crecen estos y las plantas, nó duran siempre, no presentan ninguna proporecion con las masas, son variables ; ahora obran, ahora no, y ningun hombre es capaz de producirlas artificialmente. En vista de este ligero bosquejo que os acabo de dar de las fuerzas naturales, comprendéis cuan justa es su division, puesto que son tan diversas sus condiciones respectivas.

SILV. — Si ya dáis por concluido su número me permitiréis deciros que andais equivocado, pues dejais de hablar de la fuerza de *inercia*, y no habeis hecho la justa division de fuerzas *vivas* y *muer-tas*.

TEOD. — ¿Qué entendeis por fuerza muerta y fuerza viva ?

SILV. — Por fuerza muerta entiendo la que obrando sobre una masa no produce movimiento alguno : por ejemplo ; si yo doy un empujon á esta pared, la fuerza que hago no produce ningun efecto ; por lo tanto es *muerta*. Lo contrario se entiende en la fuerza viva. Y á fin de ahorraros otra pregunta entiendo por fuerza de *inercia* la resistencia que todo



cuerpo opone á un paso del reposo al movimiento y vice versa.

EUG. — Con estas definiciones, me parece justa la observacion de Silvio.

TEOD. — Seríalo á la verdad, si lo que espresan las tales definiciones fuese cierto: mas sabed, y lo veremos luego, que toda fuerza produce su efecto, y por lo mismo todas son vivas, bajo este sentido, en cuanto á la fuerza de inercia ó de resistencia, aunque tambien veremos á su lugar esplicados por la consideracion de las masas, todos los fenómenos que la simulan, os diré aquí, que en efecto parece, cuando uno va á mover un carro, por ejemplo, que este carro ejerce una fuerza con la cual resiste á la nuestra. Mas si bien examináis los diferentes casos en que esta fuerza de resistencia se presenta, vereis que se reducen á dos; á saber la existencia de una fuerza contraria, que obra sobre la materia, y que de consiguiente ya no puede ser fuerza de inercia, y la influencia de la masa. Un ejemplo os lo aclarará. Yo quiero levantar un tonel lleno de agua y no puedo conseguirlo con la sola fuerza de mis brazos; me contento con hacerlo rodar por el suelo, y poca fuerza me basta para conseguirlo. ¿Por que me opone el tonel mas resistencia, cuando quiero moverlo, levantándolo del suelo, que cuando quiero moverlo haciéndole rodar por él? Porque en el primer caso hay una fuerza que lo tira hácia abajo, hácia el suelo, que es la misma que hace caer todo lo que no está sostenido, y además hay la masa de materia del tonel y el agua que contiene. Para levantar el tonel, debo vencer la fuerza

contraria que lo tira al suelo, y el esfuerzo que empleo para lograrlo se divide entre la masa de mi mano, y la masa del tonel, lo cual os demostraré dentro de poco, y por lo tanto ya veis que no hay ninguna fuerza de resistencia, ó inercia dependiente de la materia. Cuando hago rodar el tonel, la fuerza que lo tira hácia abajo, no me opone tanta resistencia, porque no está directamente contrariada; pues siempre descansa el tonel sobre el suelo, y entonces solo tengo que vencer una dificultad que es la division de mi fuerza entre la masa de mi mano y brazo y la del tonel con su agua, y la aparente resistencia que todavía hallo, depende de que mi propia fuerza no puede mover estas dos masas reunidas, mano y tonel, tan de prisa y fácilmente como la mano sola. Basten estos ejemplos para haceros ver que las tales fuerzas no lo son: con todo tanto en mecánica como vulgarmente se dice *resistencia* la fuerza que uno se propone ó tiene que vencer.

SILV. — Mucho pudiera deciros todavía, mas no robemos el tiempo á Eugenio, proseguid.

TEOD. — Cualquiera que sea la fuerza que se examine hay que considerar en ella tres cosas, su intensidad, su direccion, y el tiempo durante el cual está obrando. La intensidad de una fuerza se mide por la cantidad de movimiento que pueda producir, y es el objeto de una medida de este movimiento. Voy á deciros qué debéis entender por *intensidad de fuerza y cantidad de movimiento*, á fin de que tengáis ideas claras sobre este punto interesante, base de toda la mecánica. Una fuerza puede ser mayor ó menor; dos hombres tienen mas fuerza que uno,



en iguales circunstancias ; cuatro caballos mas que dos hombres. La fuerza de dos hombres es mas intensa que la de uno ; la de cuatro caballos lo es mas que la de dos hombres. Pues, cuanto mayor es la energía con que una fuerza obra tanto mayor es su intensidad. Vamos á la cantidad de movimiento. Yo tiro de la cuerda atada en este peso que marca una arroba, y no empleo mas fuerza que la necesaria para hacerla pasar de un cabo al otro de esta sala en un minuto : como el peso de esta arroba es el resultado de la fuerza que la tira al suelo, yo, que venzo esta fuerza, empleo una de una arroba. El espacio que le hago correr en un minuto, se llama *velocidad*. Os he supuesto un minuto porque para valuar la velocidad de un cuerpo se ha de adoptar una medida comparativa ó una unidad de tiempo. Esto supuesto, este peso que corre el espacio de esta sala, unos veinte pasos, en un minuto, tiene menos velocidad que si recorriese el mismo trayecto en un segundo, y mas que si gastase en hacerlo cinco minutos. Cuando este peso se ha movido, cada una de sus moléculas se ha movido con la misma velocidad ; ha hecho como un batallon que marcha á paso redoblado ú otro paso, marchando cada soldado al mismo paso, y recorriendo el mismo espacio, en el mismo tiempo : es decir que cada una ha corrido veinte pasos en un minuto, impelida por la fuerza que he empleado para el efecto ; la cual no ha podido ejercerse sobre una partícula sola, sino sobre toda la masa entera ; y puesto que cada partícula ha corrido con igual velocidad en el mismo tiempo, es menester que se hayan repartido en el efec-

to de la fuerza que las ha hecho mudar de sitio. Suponed que hay en el peso cien millones de partículas, y como tengo empleada una fuerza de una arroba, cada partícula ha sido impelida por una cien millonésima parte de la fuerza de una arroba, y esta cien millonésima parte ha hecho correr el espacio de la sala en un minuto á cada molécula : el resultado de esta porcion de fuerza es el movimiento de la molécula, la cantidad de este movimiento, y si reunís todas las cantidades de movimiento de los cien millones de moléculas, tendreis la cantidad total del movimiento del peso que equivaldrá al resultado de mi fuerza de una arroba. Si en vez de una fuerza de una arroba empleo fuerza como dos, haré correr el peso doce pasos en medio minuto, ó veinte y cuatro pasos en un minuto, si me vuelvo al punto de donde he partido, y en este caso habrá doble cantidad de movimiento, pues hay doble velocidad, y podeis ya tener por sentado desde ahora que *cuan- to mayor es la velocidad de un cuerpo, tanto mayor es la cantidad de su movimiento*. Ademas de la velocidad tambien hemos de atender al peso del cuerpo que se mueve, para saber cuánto es su movimiento ; porque hé allí van dos hombres emparejados, uno va cargado y otro no ; pero aunque uno no camina mas de priesa que el otro, con todo, el que va cargado tiene mayor cantidad de movimiento.

SILV. — ¿Y estableceis eso como principio cierto? Pues para mí no hay cosa mas dudosa : si uno no anda mas á priesa que el otro, ¿ cómo tiene mayor movimiento ?



TEOD. — Decidme, Silvio, ¿no es necesaria mayor fuerza en aquel hombre para caminar una legua, v. g., en una hora yendo cargado, que en el otro que solo se lleva á sí? No lo podeis dudar, pues esta mayor fuerza toda se ocupa en causar mayor movimiento. Por lo cual si para el movimiento de este hombre es necesaria mayor fuerza que para el movimiento de aquel, señal es que este tiene mayor movimiento que el otro; porque efecto que pide causa es mayor efecto.

SILV. — Si esas doctrinas se dirigiesen á mí solamente aun tenia que replicar; pero esto, Eugenio, no es para mí, es para vos, averiguadlo allá como pudiéreis.

EUG. — Aun no entiendo yo bien como dos hombres pueden caminar igualmente, y uno tener mas cantidad de movimiento que el otro.

TEOD. — Explicaréme mejor. Si arrojaseis una bola de plomo que pesase tres libras, y yo arrojase tres bolillas cada una de una libra, si todas se moviesen con igual velocidad, ¿en donde os parece que habria mas movimiento, en la bola grande ó en las pequeñas?

EUG. — Creo que tanto movimiento habria en la bola grande como en las tres pequeñas.

SILV. — Decís bien, porque todas iban con igual velocidad; y ademas de eso, como la grande tenia tanto peso como las pequeñas, tanto importaba moverse tres libras juntas como tres libras separadas; siempre eran tres libras de plomo que corrian aquel espacio en aquel tiempo; y así creo que tanto movimiento habria en una como en otra parte.

TEOD. — Discurrís, Silvio, muy bien; pero dejadme explicar aun por otro modo. Supuesto lo que queda dicho, tantas partículas de materia hay en la bola grande como en las tres pequeñas; como la velocidad es igual en todas las bolas se sigue que juntando nosotros la suma de los movimientos que hay en todas las partículas de la bola grande, y la suma de los movimientos que hay en todas las partículas de las tres bolas pequeñas, hallaremos que tanta cantidad de movimiento hay en la grande como en las pequeñas.

SILV. — Así es: no hay duda en eso.

TEOD. — Luego si las tres bolas pequeñas tienen tanta cantidad de movimiento como la grande, se sigue que cada una de las tres tiene la tercera parte del movimiento que tiene la grande; y la razon es porque la grande tiene tres veces mas partículas que se mueven con igual velocidad, y por consiguiente tres veces mas movimientos, ó movimiento tres veces mayor.

EUG. — No se puede negar.

TEOD. — Luego tenemos que cuando dos cuerpos se mueven con igual velocidad, el que tuviere mayor masa tiene mayor movimiento, y á proporcion de la masa que tuviere crecerá el movimiento, si acaso la velocidad fuere la misma, como suponemos; porque á proporcion de la masa crece el número de las partículas de la materia que se mueven; y creciendo el número de las partículas que se mueven crece la cantidad del movimiento, así como creciendo el número de las partículas de materia que pesan crece



el peso, y creciendo el número de las partículas de materia que resisten crece la resistencia, etc.

EUG. — Lo he entendido perfectamente.

TEOD. — Pues de aquí nace que mayor fuerza es precisa para mover una bola de plomo con velocidad igual á la de una bola de palo.

EUG. — Así es; porque si la de plomo se moviese con igual velocidad, como tiene mayor cantidad de materia, tiene mayor cantidad de movimiento.

TEOD. — Por tanto, cuando quisierais medir la cantidad del movimiento de cualquier cosa habeis de atender, no solo á la velocidad con que corre, sino tambien al peso que tiene. El modo de conocer el peso es facil, y tambien lo es el modo de medir la velocidad, que viene á ser medir el espacio que corre el cuerpo que se mueve en tiempo determinado; por ejemplo: tiro yo una bola de palo por el juego arriba, de suerte que corre todo el juego en un minuto: en midiendo el juego tengo conocida la velocidad. Supongamos que el juego tiene veinte varas; infiero de aquí que la velocidad de la bola es como veinte, ó tiene veinte grados de velocidad.

EUG. — ¿Y por que he de contar lo largo del juego por varas y no por palmos, v. g.? porque si le midiere por palmos ya salen muchos mas grados de velocidad.

TEOD. — En eso no hay misterio; bien sea que tomeis la medida del juego por varas, ó bien por palmos, siempre viene á salir lo mismo; porque si lo midiereis á palmos, tendrá v. g. ochenta palmos, y entonces direis que tiene la bola ochenta grados de velocidad; y tanto valen veinte grados de velo-

cidad, tales que cada uno valga una vara, como ochenta, que cada uno de ellos solo valga un palmo: con que hágase la cuenta de un modo ó de otro, la velocidad siempre ha de ser la misma. Me entendereis por este ejemplo: quiero saber los caudales de un hombre, tanto importa hacer la cuenta por doblones como por ducados ó por maravedises; porque aunque salgan números muy diferentes, siempre es el mismo caudal. Así tambien si contaseis la velocidad de la bola por los palmos del espacio que corre, saldrá mayor número que si la contaseis por varas; pero siempre es la misma velocidad: lo mismo digo del peso; podeis hacer la cuenta por arrobas, ó por libras ó por onzas, y por este número regular los grados de movimiento; porque veinte y cinco grados de movimiento contado por libras, vale lo mismo que un grado de movimiento contado por arrobas.

EUG. — No os canseis, que bien lo entiendo.

TEOD. — Vamos ahora al modo práctico de contar los grados de movimiento que hay en cada cuerpo que se mueve. En el caso en que yo arrojé la bola, para saber cuanto movimiento tuvo, he de ver el espacio del terreno que corrió: supongamos que son veinte varas; diré que tuvo velocidad como veinte ó veinte grados de velocidad: despues he de ver cuanto pesa: supongamos que pesa dos libras; he de decir que tiene dos grados de peso, ó que tiene masa como dos (este es el modo de hablar de los matemáticos): ahora multiplico los grados de la velocidad por los grados del peso ó masa, y digo: dos veces veinte son cuarenta, y saco que son