

no siendo elásticos la cantidad del movimiento 6 con 4, que valen 10, se debia repartir igualmente en los 2 que irian con velocidad comun 5. Pero siendo la velocidad respectiva 2, solo la accion elástica es capaz de dar 2 grados de velocidad, uno á B hácia adelante, y queda con 6, otro á A hácia atras, el que disminuido de 5 restan 4.

Si un movil elástico con velocidad de 6 incurre en otro contrario con velocidad 4, volverán ambos hácia atras, trocadas las velocidades (Fig. 97). La razon es, porque no siendo elásticos, destruyéndose de parte á parte



Fig. 97.

4 grados de velocidad, quedarán 2 en A para repartir igualmente entre ambos, y así quedaria la velocidad comun 1 hácia adelante: mas siendo elásticos, como hay velocidad respectiva 10, la accion elástica da 5 á cada uno; á *b* 5 hácia adelante, y por tener ya uno se queda con 6: al globo *a* dará 5 hácia atras; de estos se debe descontar 1 hácia adelante, y restan 4 hácia atras; esto hecho, quedan ambos con las velocidades trocadas, y de aquí sale esta regla general.

LEY Y CONCLUSION GENERAL. *Cuando los cuerpos elásticos son iguales en masa quedan con los estados cambiados despues del choque.*

Esto es, si el choque es de cuerpo movil con otro parado, el que incurre queda quieto y comunica al otro su velocidad. Si ambos iban hácia la misma parte, continuan cambiando las velocidades *por el efecto octavo*. Si iban hácia partes contrarias, vuel-

ven uno y otro atras rechazados; pero con velocidades trocadas *por el efecto noveno*.

EUG. — ¿Habeis dicho cuanto hay que decir sobre el choque?

TEOD. — No; pero antes de continuar quiero hacer un esperimento curioso.

SILV. — Ya nos saldrá con una de las suyas.

§ VII.

Esperimento del palo roto encima de dos copas de vidrio sin romperse estas. Trátase del choque oblicuo.

TEOD. — Para sobrellevar la mortificacion que os habrán ocasionado estas materias que fatigan algo la cabeza quiero hacer una esperiencia curiosa. Hago que traigan dos copas de vidrio (Fig. 98); y despues de echarles dentro agua, he de poner un pedazo de palo que tenga lo menos dos palmos y medio ó tres de largo sobre los bordes de una y otra: habiendo hecho esto así, he de dar un golpe tal en medio del palo *acb* que le quiebre, sin que caigan

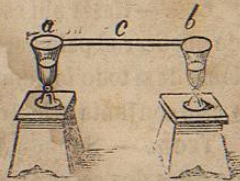


Fig. 98.

las copas en que estriba, ni se derrame una gota de agua; lo mismo se hace en dos pucheros de barro ó cosas semejantes. He aquí está todo pronto: ved si sucede lo que digo.

EUG. — Esperad un poco; ¿y con qué quereis dar el golpe?

TEOD. — Con este baston que es mucho mas grueso y fuerte.

SILV. — Vamos á la esperiencia, que me parece imposible no hagais pedazos las copas.

TEOD. — No tengais miedo; ahí va.

EUG. — No se puede dar cosa mas asombrosa; el palo que estaba atravesado se quebró y las copas quedaron derechas. Teodosio, la esperiencia es divertida, pero una cosa tan admirable me mortifica hasta saber la razon. Ya sé que con lo que me habeis enseñado deberia hallarla, pero quiero que vos me la digais.

TEOD. — Cuando doy el golpe con el baston lo muevo con mucha velocidad: luego que da en el palo atravesado, una de dos, ó el palo se ha de quebrar, ó se ha de mover hácia abajo y llevar consigo las copas y el agua que está dentro de ellas, y esto con tanta velocidad quanto pide el baston que va velocísimo.

EUG. — Hasta ahí es cierto, porque el baston ó ha de quebrar el palo para pasar, ó ha de llevar por delante de sí todo lo demas que le embaraza el camino, y esto con tanta priesa cuanta es aquella con que él va.

TEOD. — Supuesto esto, el baston ha de hacer de estas dos cosas la que le costare menos y en que hallare menor resistencia. No siendo, pues, el palo que está atravesado muy grueso, mas facil es quebrarle con la velocidad con que va, que moverle á él, á las copas y al agua que está dentro.

TEOD. — ¿Y cómo probais eso?

TEOD. — Lo pruebo claramente: todo cuerpo que está quieto resiste en cierto modo al movimiento que le quieren dar, y para vencer esta resistencia es necesario que haya alguna fuerza en la persona que lo mueve, y tenemos ya que precisamente por este principio ha de haber alguna dificultad, bien que pequeña, para mover hácia abajo las copas, el agua y el palo que está atravesado: esta dificultad es mayor siempre que el cuerpo que está quieto tiene mas peso ó tiene mayor volumen, porque si tiene mayor peso, es preciso mayor fuerza para ponerlo en movimiento, y si tiene mayor volumen ha de vencer mayor resistencia del aire: de aquí procede que quanto mayores son las vasos, y quanto mas agua tienen dentro, mas facil y seguramente se hace la esperiencia, porque de este modo ya tenemos mas dificultad en dar movimiento á los vasos y al palo que está sostenido en ellos. Luego si hay dificultad quando le quisieren dar movimiento mayor; de aquí nace que para dar á una bala grande de hierro un movimiento tardo bastará vuestra fuerza, Eugenio; mas para darle un movimiento veloz no bastará: señal de que en esto hay mayor dificultad. ¿Estais en estos principios?

EUG. — Sí, porque son evidentes.

TEOD. — Luego si quisiéremos dar á los vasos, al agua y al palo atravesado un movimiento tardo, ha de costar menos que si le quisiéremos dar un movimiento muy veloz, y por consiguiente quanto mas veloz viniere el baston que da el golpe, mayor dificultad ha de haber en comunicar ese mismo movimiento á todo lo que se le presenta delante. Añadid ahora, que habiendo

dificultad en dar movimiento á cualquier cuerpo, es mucho mas dificultoso darle todo ese movimiento en un instante que dárselo sucesivamente y poco á poco. Pruébese esto con una esperiencia bien facil: si en el juego de bolos cogiéreis una bola, y moviendo por veces el brazo la despidiéreis, fácilmente podreis arrojarla por todo el juego sin que molesteis vuestra mano: en este caso todo el movimiento que dais á la bola es poco á poco, porque en cuanto la bola está en la mano la vais dando mayor movimiento; de suerte que si el compañero por juguete os dió en el brazo cuando despediais la bola, lleva la bola mucho menos movimiento, señal de que es preciso conservarse mas tiempo en la mano para llevarlo mayor. Haced ahora otra esperiencia: poned esa misma bola parada en el medio del juego, y dadla un golpe con la mano con toda la fuerza, vereis como vuestra mano se molesta, y que no es bastante ese golpe para hacer correr la bola tanto espacio como antes corria; en lo que se ve claramente que vuestra fuerza, que basta para dar á aquella bola un determinado movimiento poco á poco, no es bastante para dárselo de repente y de golpe; luego es mas dificultoso dar un movimiento de repente que poco á poco.

EUG. — Teneis razon.

TEOD. — He aquí por qué digo yo que en nuestro caso mas facil es quebrarse el palo atravesado que moverse él, los vasos y el agua con una velocidad igual á la que trae el baston que da el golpe, porque para este movimiento es necesario vencer tres dificultades: primera, la que hace cualquier cuer-

po que está parado por causa de su peso; segunda, porque el movimiento que se le quiere dar es velocísimo; tercera y principal, porque es movimiento que se ha de dar de repente y de golpe, para lo que habeis visto se pide mucha mayor fuerza; y como el baston, ó ha de comunicar este movimiento así, ó ha de quebrar el palo atravesado, siéndole facil quebrar el palo con la fuerza del golpe, y habiendo de abrir camino del modo que cuesta menos, quiebra el palo y no mueve los vasos; y no moviéndose los vasos, no pueden caer ni derramarse el agua.

SILV. — De tal suerte armáis vuestras cuentas que todo os sale justo; pero yo, Teodosio, os confieso que no puedo persuadirme á que sea esta la causa.

TEOD. — Tambien no os podiais persuadir del efecto, y visteis con vuestros ojos que era como yo decia: ¿quereis ver mas claramente como esto procede de la velocidad con que se mueve el baston para dar el golpe? Pues reparad. Si yo pusiere levemente el baston sobre el palo que está atravesado y fuere cargando, luego caen las copas; lo mismo sucede si yo diese un pequeño golpe, porque en estos casos como el baston no va tan de priesa, y para llevar delante de sí el palo y las copas tampoco es necesario moverlas tan de priesa, ni darle un movimiento tan grande, hay por lo mismo menos dificultad, y menos fuerza le basta para esto: de este modo mas facil le será mover todos esos obstáculos que quebrar el palo. Por tanto para salir la esperiencia como se desea es preciso que el golpe sea grande, y que el baston con que damos el golpe

sea mas recio que el palo atravesado, y que este no sea tan fuerte que no se pueda quebrar con el golpe. Esta misma esperiencia se puede hacer atravesando el palo y poniendo sus estremidades sobre los dedos de dos personas, y es la misma razon, como tambien de otros efectos semejantes; por lo mismo si á una de estas veletas ó banderillas de metal que se colocan en las agujas ó alto de las torres para señalar de donde corre el viento, se le tirase de cerca con una bala despedida de una escopeta pasará la banderilla de parte á parte sin moverla; si disparásemos tambien una pistola con bala contra un vidrio plano hará un agujero redondo sin quebrar el vidrio, y todo es por la misma razon, porque es mas facil llevar aquel pedazo de banderilla ó vidrio solamente, que mover la otra porcion de la banderilla, ó vidrio con la velocidad proporcionada á la de la bala.

SILVIO. — Ya veo que la velocidad es de una influencia grande en el efecto, pero no acierto aun porque esta diferencia de velocidad rompe el palo sin los vasos, y agujerea el vidrio sin quebrarlo en estrella como sucede comunmente.

TEOD. — Si en vez del pistoletazo diese contra el vidrio una puñada se romperia, como decís, porque en este caso las moléculas del vidrio se reparten el choque, al cual, como no pueden resistir, se rompen en muchas partes; pero cuando la bala le hiere las moléculas heridas directamente no tienen tiempo de comunicar á las demas el golpe recibido; ellas solas cargan con él, y como la fuerza de la bala es sumamente superior á la de cohesion de las

partículas chocadas, se arrancan estas violentamente de sus compañeras que no participan de su movimiento. Lo mismo sucede con un golpe descargado contra el ángulo de una peña que hace saltar un pedacito; la fuerza con que están impelidas las moléculas de este pedacito no les da tiempo de que la repartan entre las demas y se las lleva.

SILV. — Vamos, no os esforceis mas; quedo convencido.

EUG. — Lo que es á mí no me cabe ninguna duda, y ahora veo porque ciertas balas muertas en el campo de batalla causaban muchas veces mas estrago que algunas tiradas á boca de jarro, y porque cierto dia una bala de cañon agujereó una puerta de un fuerte que yo defendia sin que la puerta se moviera, siendo así que bastaba el menor empuje para que girase sobre sus goznes.

TEOD. — Ya que ambos á dos estais penetrados de esta verdad, pasemos á otra clase de choques. Ya sabeis que cuando dos causas concurren á dar movimiento al mismo cuerpo, y no por una misma linea, resulta un movimiento compuesto de las dos direcciones, y que el modo de conocer la linea que el movíl seguirá es formar de las dos direcciones primitivas Ab Ac (Fig. 99) los lados de un paralelogramo, cerrarle con otras lineas paralelas iguales á las primeras y la diagonal AZ será la direccion que pretendemos hallar. Mas para resolver el movimiento hay otra

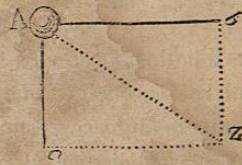


Fig. 99.

doctrina que tiene su diferencia, porque no es cosa libre resolverle en las direcciones que se quieran, sino que debe ser siempre en las direcciones simples y totalmente estrañas entre sí, de suerte que no comuniquen, esto es, que una de estas direcciones simples nada incluya de la otra direccion. Por esto siempre la linea del movimiento que se ha de resolver ha de

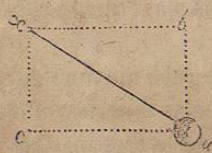


Fig. 100.

ser diagonal de algun paralelógramo rectángulo (Fig. 100).

La razon es, porque si las dos direcciones *ab ac* no hacen ángulo recto, la una ayudará á la otra ó la encontrará, y así

no se resolverá bien el movimiento en una diagonal.

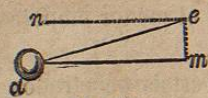


Fig. 101.

No obstante esto, á cada uno le es libre resolver en lineas mayores ó menores, como en la (Fig. 101). La razon es, porque en la linea del movimiento *AE*

(Fig. 102), que es la diagonal del rectángulo, puedo yo describir un semicírculo; pero á cualquier punto de ese semicírculo que yo tire lineas desde el punto *A* quedará el paralelógramo rectángulo, porque en la circunferencia del semicírculo todos

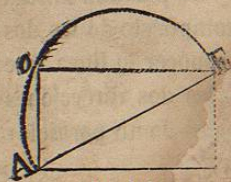


Fig. 102.

los ángulos son rectos si se apoyan en el diámetro entero. Para determinarnos á trazar las lineas en que el movimiento se resuelve, debemos hacer una linea perpendicular al obstáculo del movimiento y otra paralela, porque solamente de este modo se

resuelve bien el movimiento, para lo cual observé las leyes siguientes:

4^a Cuando la linea del movimiento es perpendicular al obstáculo fijo, se destruye el movimiento del todo y no se resuelve. La razon es, porque si la bala diere en pared frontera por una linea perpendicular, la misma razon hay para que vaya á la derecha que á la izquierda (Fig. 105); luego debe parar todo el movimiento si no hubiere alguna fuerza elástica que le haga resucitar.

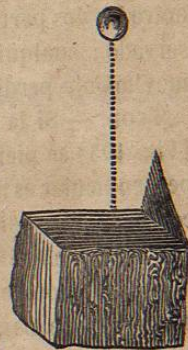


Fig. 105.

II^a Cuando la linea del movimiento fuere oblicua al obstáculo fijo, el movimiento se destruirá en parte, y en parte se conservará, y por esto se resuelve (Fig. 104). La razon es, porque

en la linea *Ae* oblicua al obstáculo se incluye alguna parte del movimiento particular *Ab*, y otra parte del paralelo *Ao*; pero todo el perpendicular quedará destruido por la ley antecedente: el movimiento paralelo *Ao* no tiene quien le destruya, porque un movil no puede tener accion sobre un obstáculo que está paralelo con él: para obrar contra el obstáculo ha de tener accion contra él, y no puede haber esta cuando es perfecto el paralelismo. Aquí se prescinde ahora del roce ó de la presion de la gravedad, y se habla de la linea del movimiento.

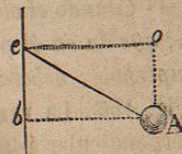


Fig. 104.

EUG. — Así no hay cosa mas facil que resolver un movimiento, dada la linea de este y la posicion del obstáculo. Tírese desde el movil A una perpendicular al obstáculo, y desde el punto *e*, en que el movil A herirá al obstáculo, se tira otra *eo*: la paralela *Ao* entre las dos perpendiculares es el movimiento conservado; cualquiera de las perpendiculares es el movimiento perdido.

TEOD. — Si la linea es mas oblicua como en la (Fig. 405) se pierde menos movimiento, porque la perpendicular es menor, y se conserva mas, porque es mayor la paralela. Hagamos ahora aplicacion de estas leyes á la teórica de los golpes perpendiculares y oblicuos. Para dar á un cuerpo quieto el movimiento por esta linea ó por la otra se han de observar las leyes sacadas de las doctrinas que os dí, y son las proposiciones siguientes:

1^a Cuando el obstáculo B es herido por un cuerpo A, que da en él por una linea perpendicular á su superficie, deberá ceder por la misma linea AB (Fig. 406). La razon es, porque siendo este golpe perpendicular á la superficie *mn*, que es la tangente tirada por el punto del contacto, no hay mas razon para que ceda el cuerpo B inclinándose á una parte mas que á otra; luego debe seguir la misma linea del impulso, la que viene á ser ABC.

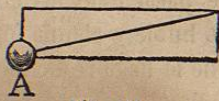


Fig. 405.

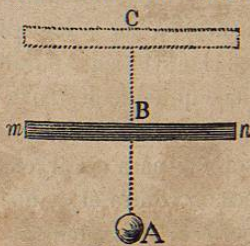


Fig. 406.

2^a Cuando un obstáculo es herido por un cuerpo que da en él por linea oblicua, respecto de su superficie debe ceder por una linea perpendicular á la superficie (Fig. 407). La razon es, porque siendo la linea del golpe oblicuo á la superficie del obstáculo *b*, el movimiento debe resolverse en dos, uno paralelo *ao*, y este no tiene accion alguna sobre el obstáculo, el otro perpendicular *am*, ó bien *b* su

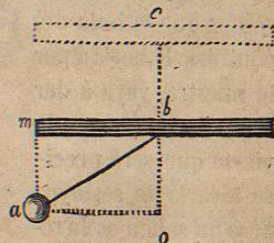


Fig. 407.

igual, que es la que tiene toda su accion sobre el obstáculo; y de este modo, pues el obstáculo no recibe accion alguna sino por la linea perpendicular *ob*, debe ceder por la misma linea *obe*, segun la proposicion antecedente. La diferencia del efecto solo está en que siendo el golpe perpendicular, la accion es igual á toda la linea *ab*; pero como es oblicuo, la accion solamente será igual á la linea *ob*, y por esto cuanto mas inclinada sea la linea del golpe ó del incurso, tanto menor será la accion sobre el obstáculo. De esta doctrina se saca la verdadera razon de muchos efectos que vemos, y de los que no todos saben la causa.

En el billar cuando la bola da oblicuamente en el borde, (Fig. 408.) este solamente tiembla, y recibe el golpe corres-

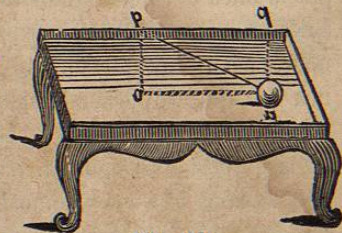


Fig. 408.