

parte izquierda; porque de la parte derecha tiene la tabla del timon que sobresale, y de la parte izquierda queda toda libre y desembarazada.

EUG. — Todo eso es cierto; ¿pero por que vuelve la nave?

TEOD. — Voy á dar la razon: si la quilla estámas desembarazada por la parte izquierda que por la derecha, es necesario que la parte izquierda corte el agua mas fácilmente; y por eso de esa parte ha de andar mas ligera que de la izquierda, por cuanto de la izquierda tiene el timon que ha de hacer algun embarazo al cortar el agua; y si la nave anduviere mas ligera de la parte izquierda, toda ella se ha de ir volviendo hácia la derecha.

SILV. — Eso forzosamente ha de ser así; porque muchas veces me sucede en Lisboa, cuando voy gobernando los caballos de mi silla volante, tropezar en otra ó en alguna esquina, y es cosa infalible que si tropezó la rueda de la derecha toda la silla se inclinó hácia allí; como al contrario toda se inclina hácia la izquierda si tropezó por esta parte.

TEOD. — Pues de ese efecto es la misma razon, porque la rueda que tropezó en la otra, ó quedó parada, ó por lo menos se movió mas despacio; al mismo tiempo que la otra que está libre, yendo el carruaje rápido, continúa moviéndose por algun tiempo aunque muy poco; pero es bastante para que el caballo que va delante se incline todo hácia la parte del embarazo. Lo mismo digo de la nave, con la diferencia de que en el navío es mas leve el embarazo; pero persevera mientras se hace fuerza al timon; por eso la nave siempre va volviendo po-

co á poco: lo que dije haciendo fuerza en el timon hácia la derecha sucede á proporcion haciendo fuerza hácia la izquierda de la nave.

EUG. — Eso se infiere naturalmente por la misma razon.

TEOD. — Ocupémonos ahora particularmente del movimiento reflejo que nace despues del choque.

EUG. — Creo que no me habeis dicho nunca qué cosa sea movimiento reflejo.

TEOD. — Movimiento reflejo es el movimiento con que una cosa despues de encontrar con otra vuelve hácia atras: ejemplo, si tirais una pelota á la pared vuelve hácia atras, el movimiento con que fué á la pared es directo; el movimiento con que vuelve hácia atras se llama reflejo.

EUG. — Lo entiendo claramente, proseguid.

TEOD. — Voy á ello.

§ VIII.

De las leyes del movimiento reflejo.

TEOD. — Vos, Eugenio, sabeis por esperiencia, que si yo dejase caer la pelota de la mano perpendicularmente sobre esta piedra plana y lisa, sabeis, digo, que acostumbra á saltar y reflectir por la misma linea ó por el mismo camino (Fig. 416).

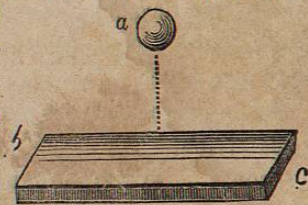


Fig. 416.

EUG. — Así lo tenemos observado mil veces.

TEOD. — Pues ahí teneis la primera ley del movimiento reflejo, y es esta: *todas las veces que una bola elástica cae perpendicularmente sobre un plano duro, reflecte por el mismo camino; y si reflecte por el mismo camino por donde fue tanto en la ida como en la reflexion hace los mismos ángulos con el suelo ó superficie b c.* Vamos ahora á dar la razon de esta ley como buenos filósofos.

EUG. — ¿Y cuál es?

TEOD. — La bola ó pelota, cayendo perpendicularmente sobre esta losa, trae un movimiento simple hácia abajo; á este movimiento se opone la piedra totalmente; digo que se opone totalmente, porque estando la piedra así no puede andar la pelota hácia abajo ni un punto mas: si la piedra estuviese algo inclinada, podría la pelota bajar alguna cosa mas rodando por la losa; pero como la losa está derecha, no puede absolutamente la pelota ir hácia abajo; ella, pues, no tiene algun otro movimiento sino el de la gravedad ú otro semejante con que fue hácia abajo; siguese de aquí que perdió todo el movimiento que llevaba, y que si no tuviere elasticidad quedó parada, como vereis si hiciéreis esperiencia con barro fresco.

EUG. — Pero nosotros vemos que la pelota salta hácia arriba.

TEOD. — Eso procede enteramente de la elasticidad. Con el golpe bien se sabe que se ha de comprimir la pelota, y ha de comprimirse la parte inferior que toca en la piedra; como tiene elasticidad

ha de hacer fuerza esa parte de la pelota para restituirse á su estado natural, esto puede ser, ó moviendo la losa hácia abajo (lo que es dificultoso), ó tirando con toda la pelota hácia arriba. Además de eso como la compresion se hace enteramente moviéndose la pelota perpendicularmente hácia abajo, la fuerza de la elasticidad ha de hacer enteramente el que se mueva la pelota por la misma linea hácia arriba, porque la pelota ha de restituirse á su estado natural por el mismo camino ó por la misma linea por donde la comprimieron.

EUG. — ¿Y tambien hay regla cierta en la altura á que ha de subir?

TEOD. — Si la pelota cae solo impelida de su peso, y tuviere elasticidad perfecta, ha de llegar á la misma altura de donde cayó.

EUG. — ¿Y por qué?

TEOD. — Porque si la elasticidad de la pelota es perfecta, ha de hacer tanta fuerza para restituirse cuanta fue precisa para ser comprimida: la fuerza que comprimió la pelota se mide por la altura de donde cayó; por eso cuanto mayor es la altura, tanto mayor es la fuerza del golpe que da en el suelo; luego tambien la fuerza que hace para restituirse se ha de medir por esta misma altura; y por lo mismo cuanto mayor fuere la altura mayor ha de ser la fuerza de la elasticidad.

EUG. — ¿Y cuando la pelota no tuviere elasticidad perfecta hasta donde ha de subir?

TEOD. — Nunca ha de llegar á la misma altura, ha de faltarle tanto cuanto falta á la elasticidad para ser perfecta. Notad ahora una cosa precisa: esta

misma ley, que como tengo dicho observa la pelota cayendo perpendicularmente, observa cualquier bola elástica, y esto bien sea cayendo hácia abajo ó bien yendo horizontalmente: me explicaré con la esperiencia. Venid acá dentro á esta mesa de trucos (Fig. 117). Supongamos que tirais aquella bola *a*

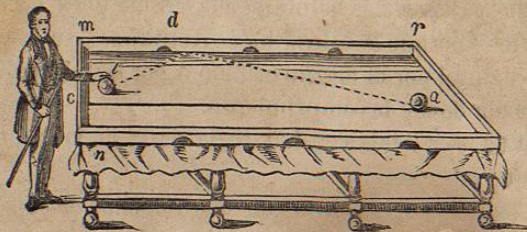


Fig. 117.

hácia esta barandilla de la mesa que la está enfrente *c* por una línea *ac*; que venga bien derecha á esta barandilla, sin inclinar mas á una parte que á otra; si la bola fuere por este camino, ha de reflectir por la misma línea: haced la esperiencia.

EUG. — Así es; retrocedió la bola por la misma línea, y creo que aquí hay la misma razón que disteis cuando la pelota reflectia del suelo.

TEOD. — Es la misma; porque como la línea *ac* por donde se movió la bola es tambien perpendicular al plano ó barandilla *mn* en que dió, ha de seguir la misma ley: dije que era perpendicular al plano, porque no inclina mas á una parte que á otra, y siempre que sucede esto es la línea perpendicular, como os dije.

EUG. — Lo he entendido perfectamente: continuad.

TEOD. — Síguese ahora la segunda ley, y es para cuando la bola no da en el plano perpendicularmente, sino por línea oblicua é inclinada: dice pues la segunda ley: *la bola cuando da en el plano por línea oblicua hace en la reflexion un ángulo igual al que hizo cuando dió en el plano.*

EUG. — Explicadme primeramente lo que dice la ley, y despues dareis la razón de ella.

TEOD. — Habeis de entenderme mejor, si antes de practicar la ley en este juego, la explicaré por pluma y tinta: aquí os dibujo en este papel una losa *ab* (Fig. 118): supongamos que esta bola *e* cae en la losa,

no perpendicularmente, sino por esta línea oblicua é inclinada

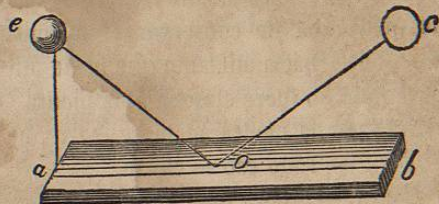


Fig. 118.

eo; bien veis que esta línea hace con el plano ó losa *ao* un ángulo agudo á la parte izquierda; ahora digo yo que ha de reflectir la bola hácia adelante por esta línea *oc*, porque esta línea hace con el plano *ob* otro ángulo agudo semejante al primero.

EUG. — Quereis decir, que ha de estar tan inclinada hácia la piedra la línea por donde la bola reflecte como estaba inclinada la línea por donde cayó; si es esto entiendo la ley. Vamos ahora á la razón de ella.

TEOD. — La razon es esta. La bola cayendo por linea oblicua lleva un movimiento mezclado de dos, porque juntamente baja y va andando hácia adelante, de suerte que cuando llega á dar en la piedra tiene bajados cuatro palmos (supongamos que esta es la altura de que cae), y tiene andada con movimiento horizontal hácia adelante la mitad del largo de la losa, que serán cinco palmos por ejemplo.

EUG. — Sea muy enhorabuena.

TEOD. — La piedra pues no embaraza el movimiento horizontal de la bola con que esta sigue su camino, solo impide el movimiento hácia abajo; por eso la bola cayendo de esta suerte siempre va adelante, ó rodando por la piedra ó saltando por el aire: por consiguiente la bola despues de dar en la piedra ha de conservar el mismo movimiento horizontal hácia adelante que hasta allí le tenia; y si la bola no fuere elástica ni la piedra, ha de ir rodando por la piedra adelante.

EUG. — Todo eso es cierto.

TEOD. — Ahora bien, la elasticidad hace subir la bola hácia arriba tanto quanto ella bajó, como os hice ver en la primera ley; si ella bajó de la altura de cuatro palmos, como hemos supuesto, tambien ha de subir á la altura de cuatro palmos; tenemos pues que la bola, despues del golpe, ha de subir cuatro palmos, y que ha de andar hácia adelante tanto quanto hasta allí anduvo; si mientras que bajó anduvo cinco palmos hácia adelante, en tanto que sube ha de andar otros cinco tambien hácia adelante.

EUG. — Eso es natural que sea así.

TEOD. — Pues la bola no puede hacer esto sino reflecciendo por la linea *oc*; porque cuando llegare á *c* tiene subidos cuatro palmos, y andando hácia adelante la otra mitad de la piedra que tiene cinco palmos como la primera mitad.

EUG. — Ya sé la razon de una esperiencia bien ordinaria del juego de pelota; y es que cuando la pelota viene muy rastrera, tambien salta muy rastrera, y tanto, que es preciso bajarse uno mucho para darla: al contrario cuando viene muy alta y cae por elevacion, tambien da el salto muy alto y derecho hácia arriba, de suerte que casi sin bajarse uno se le viene á la mano naturalmente.

TEOD. — Aun por esta razon hablé de los ángulos iguales que ha de hacer con el suelo cuando cae y cuando reflecte. Vamos á ver ahora tambien esta ley practicada en el juego de truco (Fig. 417). Si estuviere una bola aquí en donde tengo el dedo *i*, podeis tirarla en derecha; pero á veces no puede ser por haber en el camino algun impedimento; suelen entonces los jugadores diestros tirarla de este modo; tiran á aquella tablilla *d*, que es dura y elástica, y dirijen con fuerza la bola *a*, y por reflexion viene infaliblemente á dar en esta *i*.

EUG. — ¿Eso es infalible?

TEOD. — Hacedlo y lo vereis; pero poned cuidado en que vuestra bola *a* dé en el sitio *d* que os dije, pues á poco que se desvíe puede ser que no deis en mi bola.

EUG. — Ahi va... acerté. Vamos ahora á saber la razon.

TEOD. — Es la misma de la pelota. La linea *di*,

por donde reflecte la bola, hace con la barandilla de la mesa de la parte de acá *dm* un ángulo igual al que hizo con la misma barandilla de la parte de allá *dr* la línea *ad* por donde dirigisteis la bola; y como la bola ha de reflectir por una línea que tenga esta circunstancia, por eso reflecte por *di*, y viene de este modo á dar en mi bola *i*.

SILV. — Habeis discurrido escelerentemente; y entrambos habeis dirigido la esplicacion hácia el juego de que gustais, Eugenio al de pelota, y vos al de trucos; ¿tendrá tambien lugar esta doctrina en el juego de bolos que es aquel en que yo suelo divertirme?

TEOD. — No digais eso burlando, porque tambien en él se ven las mismas leyes....

SILV. — No os molesteis mas, pues así lo considero; pero á mí, despues de haber oido esas doctrinas de geometría, paréceme que he de ser tan mal jugador como era hasta aqui.

TEOD. — En estas materias vale mas la esperiencia que toda la especulacion; que ya no se ve bien.

Ahora solo restan unas consecuencias, que naturalmente se siguen de las dos que hemos establecido: yo os prometo que en los dias que se siguen vereis copioso y suavísimo fruto del trabajo que hoy tuvisteis.

EUG. — ¿Y cuales son esas leyes de movimiento que nos faltan?

TEOD. — No son otras leyes: son estas mismas aplicadas á algunas circunstancias especiales. Hemos dicho, Eugenio, que si una bola cayere per-

pendicularmente reflecte hácia arriba por la misma línea.

EUG. Así lo dijisteis.

TEOD. — Luego si cayeren muchas bolas á plomo y emparejadas sobre una piedra lisa y plana, han de reflectir todas por las mismas líneas por donde cayeron, porque cada una de ellas cae perpendicularmente.

EUG. — Así es, en esto no puedo tener duda.

TEOD. — Bien está; vamos adelante: hemos dicho en la segunda ley, que si una bola cayese oblicuamente sobre una piedra habia de reflectir, haciendo en la reflexion un ángulo igual al que hizo cuando cayó. ¿Os acordais de esto?

EUG. — Bien me acuerdo de esa ley, y de la razon con que la confirmasteis.

TEOD. — Permitidme ahora hacer un dibujo, [porque sin la práctica no podemos fácilmente hacer la esperiencia ni observar lo que es preciso (Fig. 119).

Esto que aquí abajo he dibujado es una losa lisa y plana. Si tiráremos con esta bola *A* hácia abajo por esta línea *Am*, ha de reflectir por la línea *ma*: ¿estais en esto?

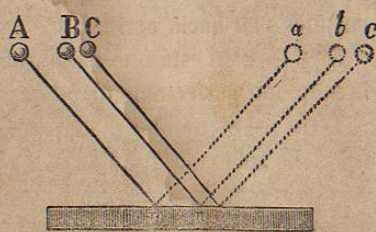


Fig. 119.

EUG. — Estoy.

TEOD. — Infero ahora: luego si vinieren tres bolas emparejadas, esto es, con igual inclinacion hácia la piedra, v. g., como se finge que vienen estas

tres bolas ABC, tambien han de reflectir por lineas que sean igualmente inclinadas á la misma piedra, como son estas lineas de puntos *ma*, *nb*, *oc*; de suerte que la bola A va á parar á *a*, la bola B á *b*, y la bola C á *c*, porque de cada una de las bolas hemos de decir lo mismo que de la bola A.

EUG. — Así debe ser, porque no hay mayor razon para reflectir una con igual inclinacion á la que trajo, y las otras no.

TEOD. — De aquí se sigue que despues que las bolas reflecten, quedan entre sí con el mismo orden y distancia que tenian antes como aquí veis: la bola *b* queda mas cerca de *c* que de *a*, así como la sucedia antes de reflectir. Por tanto, regla general, todas las veces que el cuerpo donde se hace la reflexion es plano y liso, y las bolas vienen por lineas paralelas, quiero decir emparejadas, quedan despues de la reflexion con el mismo orden que tenian antes, solo con una diferencia, que es la única, y es, que antes de la reflexion venian hácia abajo, despues van hácia arriba.

EUG. — Bien está: no os canseis mas en esto, que lo entiendo perfectamente. Vamos á otras leyes.

TEOD. — Sigue ahora otra regla para conocer las lineas de reflexion que han de hacer las bolas cuando cayeren en cuerpos que no sean planos como los de que hablamos hasta aquí, sino cóncavos ó convexos, porque entonces hay gran diferencia.

EUG. — ¿Qué cosa es cuerpo cóncavo ó convexo?

TEOD. — Cuerpo convexo es una bola por la parte de afuera: cuerpo cóncavo es una esfera hueca vista por la parte de adentro: esta taza con la que se

toma el té, vista por dentro, es cóncava y por fuera es convexa.

EUG. — Basta: ya lo entiendo: vamos ahora á saber como han de reflectir las bolas dando en una piedra convexa ó cóncava.

TEOD. — Aquí no tenemos piedras de esta figura para hacer la esperiencia, valgámonos de pluma y tinta (Fig. 120): aquí está una piedra convexa *mnrs*: ahora digo: Si

cayeren muchas bolas á plomo todas emparejadas sobre esta piedra convexa han de reflectir separándose entre sí. Aquí dibujo tres ABC:

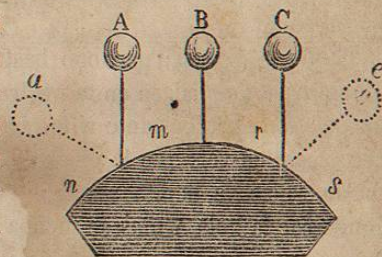


Fig. 120.

supongamos que todas caen hácia abajo por estas lineas que aquí señalé: en la reflexion ha de ir A hácia *a*, C hácia *e*, y B ha de volver por el mismo camino.

EUG. — Es notable esa ley: venga la razon.

TEOD. — Primeramente B cae perpendicularmente sobre la piedra, porque no inclina hácia una parte mas que hácia la otra, y si cae perpendicularmente ha de volver por el mismo camino, porque no hay mas razon para reflectir hácia una parte que hácia otra, siendo la linea por donde vino igualmente inclinada para ambos lados: por tanto, así como la pelota cayendo perpendicularmente sobre la piedra plana y lisa reflecte por el mismo camino, como

mostramos en la primera ley, así debe reflectir de la piedra convexa ó concava, con tal que caiga perpendicularmente : quedemos en esto.

EUG. — Vamos á las otras dos bolas que mudan de camino.

TEOD. — La razon es porque no caen perpendicularmente en la piedra.

EUG. — Supongo que estais equivocado, Teodosio : todas estas bolas caen á plomo derechamente hácia abajo.

TEOD. — Eso sí; pero no basta que vengan á plomo para que caigan en la piedra perpendicularmente ; eso seria bastante si la piedra fuese plana ; pero vos bien veis que la piedra es convexa, y que su superficie va dando vuelta ; y así la linea por donde cae la bola A mas se inclina hácia la superficie *m*, que queda de la parte de arriba, que hácia la superficie *n* que queda de la parte de abajo ; y todas las veces que una linea no se inclina igualmente hácia ambas partes no es perpendicular. Poco há que os dije esto.

EUG. — Teneis razon : ahora me acuerdo.

TEOD. — Luego esta bola cae por linea oblicua, y por consiguiente ha de reflectir hácia el costado, y dirigirse al lugar *a*, porque la linea por donde reflectiere ha de tener tanta inclinacion á *n*, como la linea por donde cayó tenia á *m*, á causa de la igualdad de ángulos que ha de haber en la caída y en la reflexion de la bola.

EUG. — ¿Y la bola C hácia dónde decís vos que ha de ir ?

TEOD. — Hácia donde está señalada la *e* pequeña

por la misma razon, porque cuando da en la piedra halla ya la superficie inclinada, y por lo mismo cae oblicuamente, y ha de reflectir por la linea que va á parar al lugar *e*, porque esta es la que hace con la superficie *s* un ángulo semejante al que hace la linea por donde cayó la bola con la superficie *r*.

EUG. — Visto eso, solo la bola del medio cae perpendicularmente.

TEOD. — Así es, porque solo ella viene por una linea que tanto se inclina á una parte como á otra, y esto sucede siempre cuando muchas bolas emparejadas caen sobre el cuerpo convexo ó cóncavo.

EUG. — Tengo entendido lo que sucede en la piedra convexa : vamos á ver lo que sucede en los cuerpos cóncavos.

TEOD. — Sucede lo contrario, porque *si las bolas caen por lineas paralelas sobre el cuerpo cóncavo, reflecten juntándose hácia el medio*. Hagamos otro dibujo semejante (Fig. 121) : esta piedra *eioa* es cóncava : la bola *c*, que es la del medio, cae perpendicularmente, porque la linea por donde cae se inclina igualmente hácia ambas partes, y por lo mismo ha de reflectir por el mismo camino.

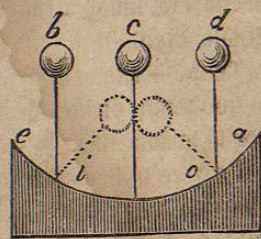


Fig. 121.

EUG. — En esa no hay duda : vamos á las otras de los costados.

TEOD. — La bola *b* aunque caiga á plomo hácia abajo halla inclinada la superficie de la piedra, y por lo mismo la linea por donde baja es oblicua

respecto de la superficie de la piedra, porque inclina mas hácia *e* que hácia *i*.

EUG. — Ahora ya comprendo la razon por que no ha de volver por la misma linea, y es porque da en la piedra oblicuamente, y no por la linea perpendicular.

TEOD. — Por lo mismo ha de reflectir por una linea que incline tanto hácia la superficie de la piedra *i*, quanto la linea por donde cayó inclinaba hácia la superficie *e*, para que queden iguales los ángulos; y como esta linea va á parar al medio, hácia allá ha de ir la bola despues de reflectir, y por la misma razon la bola *d* ha de reflectir hácia el medio, y así todas se han de juntar.

EUG. — Lo he entendido : el cuerpo convexo espere las bolas y el cóncavo las junta; pero es de admirar como en todos estos casos va siempre apareciendo el principio que quedó establecido, esto es, que el ángulo de la linea por donde la bola reflectia era igual al ángulo que hizo la linea por donde cayó.

TEOD. — Ese es el *principio* en que se funda todo lo que tengo dicho : de ahí nace el reflectir la bola por la misma linea si cayere perpendicularmente; y si cayere oblicuamente, mudar de linea, y buscar otra que tenga tanta inclinacion hácia la superficie del lado de allá, como tenia la linea por donde cayó respecto de la superficie del lado de acá.

EUG. — Ahí está en resumen la razon de todas las leyes que habeis explicado; ¿y qué os parecen á vos, mi doctor, estas cosas?

SILV. — A mí me parece muy bien que os que-

breis las cabezas por divertirlos con estas leyes de reflexion.

EUG. — En donde hallo mi instruccion allí tengo la diversion mas gustosa : aunque no he tenido estudios, no me considereis de espíritus tan flojos que me disguste el aprender solo porque cuesta algun trabajo.

TEOD. — Si no os conociese con paciencia bastante para estas cuestiones, bien podia omitirlas, porque aunque son precisas para la inteligencia de muchas que se siguen, con todo no son precisas para otras cosas con que nos podiamos entretener; mas juzgué conveniente preparar el camino para la respuesta de muchas preguntas que me habeis de hacer en adelante sobre varias materias.

SILV. — Tambien á mí me debeis ese concepto, Teodosio, de que no tratariais estos puntos tan dificultosos, á no ser muy conducentes para esplicarse y entenderse muchos efectos naturales.

TEOD. — Vamos ahora á tratar del roce.

EUG. — Espero que con lo que direis entenderé qué viene á ser el roce en física.

§ IX.

Trátase del roce y del movimiento vibratorio.

TEOD. — Cuando un sólido se mueve ya es por entre un fluido, como el agua, el aire, ya por otro sólido; en ambos casos halla cierta resistencia