

TEOD. — Pues si teneis paciencia, pasemos á otro y hablemos de las leyes del choque.

EUG. — Hablando de estas materias nunca se me acaba la paciencia.

§ VI.

Sobre las leyes del choque, y comunicacion de fuerzas.

TEOD. — Esta materia, amigo Eugenio, os dará mucha luz para el conocimiento de los efectos naturales. Para discurrir pues con claridad y solidez en esta materia sentemos primero los principios siguientes, que son verdades evidentes.

1º. *Cuando el obstáculo es fijo y el golpe perpendicular se pierden en él todas las fuerzas del movi-
vil.*

2º. *El efecto de estas fuerzas es la cavidad que queda en el obstáculo ó en el movi-
vil, ó bien la compresion que tal vez no parece despues, por causa de la elasticidad ó de la separacion de las partes hecha en uno de los cuerpos que chocaron entre sí.*

3º. *Cuando la linea del choque del movi-
vil es perpendicular y el obstáculo fijo, obra el movi-
vil con todas sus fuerzas.*

4º. *Pero cuando la linea del choque es oblicua, obrará con solas las fuerzas que corresponden á la linea perpendicular, despues que el movimiento se haya resuelto en perpendicular y paralelo.*

5º. *En este caso continúa el movi-
vil su movimiento;*

pero mudando la linea y disminuyendo la velocidad, porque se descompone ó resuelve el movimiento, las fuerzas se consumirán en parte.

Puestos estos principios acerca de los obstáculos fijos, conviene daros otros acerca de los obstáculos que ceden y son movibles.

1º *Cuando el obstáculo cede perecen algunas fuer-
zas que se consumieron en la cavidad ó compresion; mas perseveran así las que el movi-
vil conserva en sí como las que comunicó al obstáculo. La razon es, porque no hay accion de un cuerpo sobre otro sin movimiento de aquellas partes en que se hizo el contacto: estas empiezan á ceder y retirarse hácia adentro, en cuanto el resto del cuerpo resiste por su inercia de quietud, y poco á poco el obstáculo total recibe el movimiento, y cede el lugar total. Pero tanto las fuerzas empleadas en la cavidad, que es visible en los cuerpos no elásticos, como en la compresion que da lugar á la elasticidad, si el cuerpo le tiene se consumirán todas; luego solo pueden quedar las fuerzas que conserva el movi-
vil ó el obstáculo que las recibió y las mantiene en su movimiento.*

2º *La suma de las fuerzas perdidas en la compresion, y conservadas despues del choque, debe ser igual á las fuerzas que habia antes de él. Porque de lo que habia antes del choque se conserva todo lo que no pereció; luego la suma de las fuerzas conservadas y perdidas ha de ser igual á las que habia antes del choque.*

3º *Cuando la elasticidad es perfecta solo dará en*

la restitucion fuerzas iguales á las que se perdieron en la compresion. Por consiguiente.

4^o No puede haber en caso alguno mayor suma de fuerzas despues del choque que antes. Pues no hay causa que las produzca de nuevo, y es evidente que la elasticidad solamente repara las que se perdieron en la compresion. Esto supuesto :

LEY PRIMERA. Para conocer la velocidad conservada despues del choque de los cuerpos no elásticos.

Para saber qué velocidad y qué direccion queda en cada movil debemos hacer las averiguaciones siguientes :

1^a Si el movimiento es solo de un cuerpo ó de ambos, pero en la misma direccion ó linea, debe hacerse la suma de todo el movimiento.

2^a Si el movimiento de los dos cuerpos que chocan es contrario, debe descontarse el debil del fuerte, entrando en cuenta el resto solamente.

3^a Este resto ó aquella suma se debe repartir por toda la masa, y el cociente que sale en la reparticion es la velocidad comun á ambos cuerpos despues del choque.

EUG. — ¿Con qué objeto preparais esta máquina?

TEOD. — Para observar los efectos de esta ley, he aquí su esplicacion (Fig. 88). Fórmanse dos barquillas, en que se pueda poner ma-

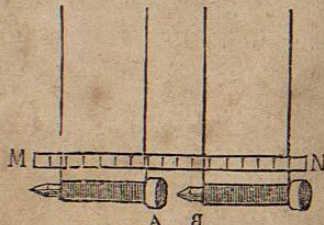


Fig. 88.

yor ó menor peso : en una va una cajita de greda blanda A, en otra un cono de metal B, que puede enterarse en la greda : ambas se pueden suspender por cordones paralelos, para que en cualquiera parte de los arcos que describen vayan horizontales, y pueda una seguir á la otra. La regla MN toda está graduada, y con ciertos punteros que se meten en agujeros diferentes : se ve de qué distancia se dejó caer la barquilla agente, y á qué punto llegaron ambas despues del choque : dispuesta así la máquina vamos á los efectos siguientes :

Si el cuerpo movil choca ó da en otro de igual masa, siempre le comunica la mitad de la velocidad, y si el movil partió de la distancia de diez pulgadas, ambos irán á partes opuestas hasta cinco pulgadas.

Si el movil que pesa una onza choca con otro quieto que pese tres onzas, ambos van con un cuarto de la velocidad antigua, porque el movil ligero no puede moverse sin que en el otro se muevan tres onzas, y cada uno ha de tener la misma velocidad del cuerpo pesado que va cediendo, en cuanto el cuerpo leve le persigue con otra tanta ; y así teniendo él cuatro grados de velocidad ha de dar á cada onza el suyo, y solo podrá guardar un grado para sí.

Si el movil B cae con velocidad 4 sobre el otro A que va en la misma direccion con velocidad 2, despues del choque irán ambos con velocidad 5, porque siendo la velocidad en la misma direccion hace una suma de 6, la que repartida entre ambos igualmente da 5 á cada uno.

Cuando un movil A cae con velocidad 2, y B cae contra él con velocidad 8, ambos van con velocidad 5 hácia donde iba el movil fuerte. La razon es, porque A con velocidad 2 destruyó en B dos grados, y solo quedaron 6; pero A cuando destruyó dos grados en B tambien perdió los suyos en la accion, y quedó quieto; y así ha de suceder lo mismo que se veria si B con 6 grados de velocidad incurriese en A, cuerpo quieto; pero entonces ambos irian de compañía con velocidad 5. ¿Habeis entendido bien todo esto?

EUG. — Perfectamente ya podeis pasar adelante.

TEOD. — Ahora conviene daros la ley para conocer las fuerzas destruidas en los no elásticos.

SILV. — Muchos fisicos no esperan esta ley, porque se contentan con la primera acerca de la velocidad conservada y comunicada en el choque; y viendo que antes y despues se halla la misma cantidad del movimiento (á no ser que haya movimientos opuestos), dan la doctrina por completa.

TEOD. — Mas quisiera yo que advirtiesen que siempre hay fuerzas perdidas en el choque. Las fuerzas que hicieron la cavidad en la greda ó la mella en el plomo son fuerzas que necesariamente perecieron; luego es imposible que antes y despues del choque haya el mismo número de fuerzas. Luego conviene que nos espliquen inteligiblemente como se pueden medir las fuerzas del cuerpo por la cantidad del movimiento, pues habiendo antes y despues del choque el mismo movimiento, no puede haber la misma cantidad de fuerzas.

SILV. — No me hallo en disposicion de disputar

sobre este punto: allá se las hayan los que entiendan de él, andad prosiguiendo.

TEOD. — Para conocer las fuerzas perdidas en el choque he aquí lo que debemos establecer.

Las fuerzas perdidas en el choque siempre son las mismas cuando la velocidad respectiva es la misma.

Llamamos velocidad respectiva la disminucion de distancia entre los cuerpos: velocidad sobre 4 que huye solamente vale 2, porque solamente con dos llegan entre sí: 6 contra 4 que tiene vale 10, porque se llegan entre sí los móviles mutuamente por 10 grados.

EJEMPLOS. *Si un movil con velocidad 4 da contra un obstáculo quieto, la velocidad respectiva es 4.*

Si un movil da con velocidad 6 sobre un obstáculo que huye de él con velocidad 2 tambien será 4.

Pero si un movil con velocidad 5 choca con otro que viene contra él con velocidad 1 tambien será 4.

EUG. — Y lo muestra tambien la esperiencia.

TEOD. — Todo lo que os digo son resultados de ella. En efecto.

En todos estos tres casos muestra la esperiencia que siempre se hace la misma cavidad; luego se pierden las mismas fuerzas. La razon es, porque el movil solo puede tener accion sobre el obstáculo cuando llega á él; pero esta aproximacion es la misma, bien sean 4 contra el cuerpo quieto, bien sean 6 sobre 2 del que huye, ó bien sean 5 contra 1 del que viene. Luego cuando la velocidad respectiva

va es la misma, las fuerzas perdidas son las mismas. Mas es justo que examinemos esto bien segun el cálculo de las fuerzas vivas ó sensibles, pues bajo este sentido lo adoptamos. Pongamos siempre masas iguales: en el primer caso el movil con velocidad 4 sobre el obstáculo quieto le da dos grados de velocidad y conserva dos. En esta suposicion calculamos; antes del choque habia velocidad 4, fuerzas 16; despues del choque conserva velocidad 2, fuerzas 4: comunica velocidad 2, fuerzas 4, pierde en la cavidad fuerzas 8.

Velocidad	4.	Fuerzas	16
Conserva velocidad	2	f.	4
Conserva velocidad	2	f.	4
Perdidas fuerzas			8
Suma f.			16

ERG. — Me parece que hasta aquí va bien.

TEOD. — En el segundo caso antes del choque en el debil habia velocidad 2 y fuerzas 4; en el fuerte habia velocidad 6, fuerzas 36, sumaban fuerzas 40.

Debil velocidad	2	f.	4
Fuerte velocidad	6	f.	36
Suma f.			40

Despues del choque ambos van con velocidad comun 4: el debil tiene fuerzas 16, el fuerte 16; en la cavidad se perdieron fuerzas 8, suma todo fuerzas 40.

Debil velocidad	4	f.	16
Fuerte velocidad	4	f.	16
Cavidad perdida		fuerzas	8
Suma			40

En el tercer caso el movil, antes del choque, tiene velocidad 5, fuerzas 9; el contrario viene con velocidad 1, fuerzas 1, suman las fuerzas antes del choque 10.

Movil fuerte	v.	5	f.	9
Movil debil	v.	1	f.	1
Suma				10

Despues del choque van los móviles con velocidad comun 1, porque dos grados de las antiguas se destruyen mutuamente, y los otros dos se reparten igualmente por ambas masas, y así en cada uno queda velocidad 1 y fuerzas 1: en la cavidad se pierden fuerzas 8 como en los casos precedentes, lo que es preciso para que haya la misma cavidad, y todo suma fuerzas 10.

Movil debil	v.	1	f.	1
Movil fuerte	v.	1	f.	1
Cavidad pierde		fuerzas	8	
Suma f.				10

ERG. — Parece que no puede haber cosa mas justa y coherente con la esperiencia y la razon.

TEOD. — Ahora, pues, en este modo de calcular tenemos en el primer caso antes del choque fuerzas 4, despues en cada movil 2, que suman 4, y la cavidad ó mella parece hecha sin pérdida de alguna

fuerza. En el segundo caso antes del choque habia en uno fuerzas 6, en otro fuerzas 2, suman 8; despues del choque 4 en cada uno suman 8, y la cavidad se hizo sin que pereziese fuerza alguna. En el tercero antes del choque fuerzas 5 en uno, y fuerzas 4 en otro, suman fuerzas 9; despues cada movil tiene fuerzas 4, suman 8, y aquí faltan 2 fuerzas: si dicen que se destruyeron mutuamente, aparece otra vez la cavidad hecha sin pérdida de fuerzas: si quieren que estas dos fuerzas hagan la cavidad, tenemos una incoherencia insufrible, porque en los otros dos casos se hizo sin pérdida de fuerzas, y en este las necesitaba. De lo que queda dicho se colige lo primero: que siendo el obstáculo absolutamente fijo, las fuerzas perdidas son todas las que habia antes del choque. Lo segundo: que siendo la masa y velocidades en razon recíproca y en direccion contraria, las fuerzas perdidas son todas las que habia antes del choque. Lo tercero: que siendo los dos cuerpos móviles é iguales y el uno quieto, las fuerzas perdidas son la mitad de las que habia antes del choque. Cuarto: que (como advierte admirablemente el Gravesande) *fuerza nunca destruyó fuerza* (cosa que en mucho tiempo no entendí), porque, como veis, las fuerzas solo se destruyen en las cavidades; y así lo que destruye á las fuerzas vivas son los efectos en que ellas se emplean, que son las compresiones ú otros semejantes. Así una velocidad destruye á otra, porque el cuerpo no puede seguir las dos; pero una fuerza no lucha con otra fuerza, sino que ambas se emplean en las compresiones. Establezcamos ahora los principios necesarios para

juzgar del movimiento de los cuerpos elásticos despues del choque.

1º *La elasticidad perfecta da en la restitution de los cuerpos comprimidos una fuerza igual á la compresion.*

2º *La accion de esta elasticidad de las partes comprimidas se dilata entre los dos cuerpos que chocaron, porque las partes comprimidas siempre estan entre los cuerpos que se chocan.*

3º *Esta accion por su parte obra hácia ambas partes opuestas en orden á dilatarse.*

4º *Si los dos cuerpos son igualmente pesados, ambos ceden igualmente á la fuerza de la dilatacion de la dicha elasticidad.*

5º *Si un cuerpo está inmovil toda la fuerza se ejerce contra el otro que cede.*

6º *Si ambos cuerpos son móviles, pero desiguales en la masa, ceden mas los que pesan menos. De suerte que la velocidad recibida está en razon inversa de las masas. Supuestos estos principios se siguen estas leyes para el movimiento de los cuerpos elásticos. Para saber que la velocidad se hallará en cada uno de los cuerpos que chocaron, en primer lugar se debe hacer cuenta con la velocidad respectiva entre ellos para juzgar por ella de la fuerza de compresion y de restitution. Luego se ha de repartir esta velocidad entre los dos cuerpos móviles en razon inversa de sus masas. En seguida añadiráse á esta velocidad que dió la elasticidad la que el cuerpo tendria en el choque (caso que no fuesen elásticos); y si las dos velocidades son conformes se hará la suma, si contrarias se sustraerá la menor de la mayor*

para tener el resto, y entonces se conocerá la velocidad y direccion del cuerpo.

EUG. — Vamos á las experiencias si, las hay, que así se entiende todo esto mas fácilmente.

TEOD. — Vamos á ellas : hagamos que esta bola de marfil dé en otra igual y quieta : cambia con ella su estado, esto es, la da toda su velocidad, y ella se queda parada (Fig. 89.). La razon es, porque si A



Fig. 89.

con velocidad 4 da en B quieto no siendo elásticos, le da dos grados de velocidad, y conserva dos.

Pero la accion que corres-

ponde á velocidad 4 se dilata entre las dos bolas. y da á cada una velocidad 2 : la bola B recibe dos grados de velocidad hácia adelante, despues de haber recibido 2 en el choque, y parte luego con cuatro grados de velocidad; pero A recibe velocidad 2 para retroceder; y como de la anterior velocidad conservaba dos grados hácia adelante, destruyéndose unos con otros se queda parada, como lo experimentan todos los jugadores del billar. Hagamos otra experiencia. Si con una bola herimos una serie de otras semejantes (Fig. 90.), todas pararán, y la última saldrá con la misma velocidad de la que dió en ellas. Ahí



Fig. 90.

lo veis, la razon es, porque por la experiencia pasada A debe comunicar toda su velocidad á B y parar: B no puede moverse sin dar en C : la da toda su velocidad y para : lo mismo sucede á las demas ;

pero cuando se da la velocidad á la última F, parte libremente con la misma velocidad que la comunicaron.

EUG. — Conformes van la razon y la experiencia.

TEOD. — Si con dos bolas elásticas tiramos á una serie de otras semejantes, todas pararán menos las dos últimas, que saldrán con la misma velocidad con que las primeras incurrieron (Fig. 91.). La ra-



Fig. 91.

zon es, porque por lo que acabo de decir, que B incurriendo en la serie da á la última de esta serie la velocidad, y ella para ; pero A, que va tras B mientras B para, incurre en ella, y por consiguiente la comunica toda su velocidad : B la comunica á C, y así sucesivamente hasta E. Esta bola no puede comunicar la velocidad á F, porque F ya va en movimiento igual comunicado por el primer incurso, y es cierto que cuando dos bolas van con la misma velocidad, no puede la posterior tener accion alguna en la que va delante; y así las dos últimas bolas EF van con la misma velocidad con que incurrieron las dos primeras.

EUG. — ¿Y si tres ó cuatro bolas incurren en una, saldrán en movimiento tantas cuantas incurran ?

TEOD. — Sí ; la razon se infiere de lo dicho : cada bola comunica su movimiento á la siguiente, y para : si despues viene otra que hace lo mismo va en movimiento, y la que se le dió paró tambien, incur-

riendo cuatro en una (Fig. 92.): D comunica su ve-



Fig. 92.

locidad á E, C á D, B á C, A á B, y paró, porque ya no tuvo quien la comunicase movimiento, y todas las demas van andando.

EUG. — De cualquier modo que las bolas elásticas estuviesen dispuestas antes del golpe se quedarán, excepto la primera, si ella fue la que incurrió (Fig. 95). La razon es, porque cada una cambia de esta-



Fig. 95.

do y lugar con la inmediata, como los soldados que van trocando el lugar con las centinelas, y los lugares siempre quedan ocupados en el mismo orden en que estaban.

TEOD. — Cabal: lo entendeis perfectamente.

Si una bola de masa 4 incurre con velocidad 4 en otra bola mayor de masa 5 (Fig. 94), la grande irá



Fig. 94.

con velocidad 2, y la pequeña irá

rá tras ella con velocidad 2. La razon es, porque no siendo cuerpos elásticos, la velocidad 4 se debia repartir por masa 4 y 5, y cabia un grado á cada masa, caminando de este modo los dos cuerpos juntos con velocidad 4. Pero la accion elástica tiene fuerzas 4,

y se dilata entre los dos móviles, y les da movimientos opuestos para separarlos, esto es, al pequeño ha de dar velocidad hácia atras y al grande hácia adelante. Ahora veamos qué velocidad da á cada uno dicha accion; como los móviles resisten desigualmente, el pequeño, que es tres veces mas ligero que el grande, debe ceder tres veces mas; y así el grande A debe recibir un grado de velocidad, el que junto con el otro que ya tenia suma 2, y el pequeño B debe recibir 5; mas como tenia uno en contrario que él conserva, despues del choque se destruyen los dos grados opuestos, y quedan libres los dos grados de velocidad hácia atras. Del mismo modo se ve que si un movil incurre en otro nueve veces mayor y parado con velocidad 10, irá el grande adelante con velocidad 2, y el pequeño atras con velocidad 8. La razon es, porque no siendo elásticos la velocidad 10 se ha de repartir por toda la masa, que es 9 mas 4; y así van los dos con velocidad comun 4: la accion elástica vale 10, porque tanta fue la velocidad respectiva que hizo la compresion: esta da velocidad 10 mas desigualmente, segun la mayor ó menor facilidad con que los obstáculos cedieron: al pequeño da 9, al grande 4, luego el grande queda con dos grados de velocidad. El pequeño tendria 9 para ir hácia atras; pero como se debe descontar un grado que tendrá hácia adelante, queda con 8 para retroceder. Ahora, amigo, hay una reflexion que merece atencion particular. En estos dos casos, y en todos que son semejantes, despues del choque hay mucho mayor cantidad de movimiento que antes, porque en el caso antes del

choque hay solo 10, y despues en el grande hay velocidad 2 multiplicada por la masa 9, que vale 18, y en el pequeño hay velocidad 8, que vale 1, multiplicado por la masa 8 = 8. Pero $18 + 8$ son 26, cosa bien estraña, que no habiendo antes del choque sino 10 grados de movimiento, despues parecen 26 sin otra causa motiva, porque el elasterio solo restituye todo lo que se perdió: lo mismo á proporcion sucede en el caso antecedente. Lo que admira, amigo Eugenio, es que muchos físicos vean esto y no se detengan viendo con todo desahogo las esperiencias; ellos mismos dan las leyes y tragan este absurdo, que del movimiento menor salga el mayor, y que el choque (mas capaz de impedir el movimiento que de aumentarle) sea el que le aumenta mas que al doble, haciendo que del movimiento 10 salga el movimiento 26.

EUG. — Pues, ¿y cómo saldremos de esta dificultad?

TEOD. — Respondo que contando las fuerzas como Leibnitz por el cuadrado de la velocidad multiplicado por la masa, porque entonces todo sale naturalísimo. Antes del choque hay masa 1 velocidad 10, cuadrado 100, fuerzas 100. Despues del choque hay en el cuerpo grande velocidad 2, cuadrado 4, masa 9, fuerza 36: en el cuerpo pequeño velocidad 8, cuadrado 64, masa 1, fuerzas 64; y así las fuerzas despues del choque son en el grande 36, en el pequeño 64, que suman 100, las mismas que habia antes del choque; porque la elasticidad perfecta restituyó las que se habian perdido en la compresion.

De aquí sale una consecuencia infalible, que no es lo mismo fuerzas del movimiento que cantidad del movimiento. El movimiento puede crecer con el choque; pero es cuando las fuerzas, siendo las mismas, le pueden producir. A lo que debe atenderse es á las fuerzas, porque estas son las que obran: si las disposiciones son tales que las mismas fuerzas puedan estar con movimiento mayor, crecerá: si son tales las circunstancias que no puedan producir sino movimiento igual, con este nos debemos contentar.

Incorre un globo de masa 2, velocidad 3, en otro parado de masa 1; siendo elásticos caminará el pequeño con velocidad 4, el grande volverá atras con velocidad 1, (Fig. 95) porque no siendo elásticos el movimiento 6 que ha-

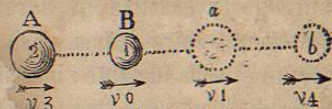


Fig. 95.

cia, debia repartirse por masa 2 mas 1, y quedaba la velocidad com-

mun 2; pero la accion elástica vale 3 (siendo siempre la velocidad respectiva); da dos grados de velocidad al pequeño hácia adelante, y luego parte con 4; al grande da 1 para retroceder, el que descontado de 2 que tenia hácia adelante queda 1.

Si un cuerpo elástico incurre con 6 grados de velocidad en otro que huye de él con velocidad 4, continuará en moverse con velocidades trocadas (Fig. 96). La razon es, porque

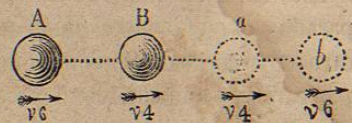


Fig. 96.

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, por-

que 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 haceros 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 haceros 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

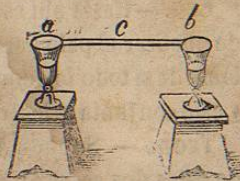


Fig. 98.

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.