

advierto que se deben observar algunas circunstancias para no frustrarse la esperiencia : la primera es que el cañon por donde baja el azogue llega casi al fondo de la base , para que no suceda caer el azogue abajo , y subir el agua por el mismo conducto por donde bajó el azogue : la segunda es . que el conducto que va á parar al jarro ha de comenzar desde la cubierta de la peana *e* , para que el azogue que cae por el pie izquierdo no pueda entrar por el conducto del pie derecho , sino despues de llenar toda la peana , y haber echado de este modo gran cantidad de agua por el jarro : la tercera es , que los conductos sean muy estrechos , especialmente el cañon del azogue , y el otro á lo menos de la cintura arriba , pues de otro modo será precisa una gran cantidad de azogue para hacerse la esperiencia . He aquí teneis la razon del efecto que tanto admirasteis . Pasemos ahora á tratar de otro punto no menos curioso que los antecedentes .

SILV. — ¿Cuál será este ?

TEOD. — De los tubos capilares .

SILV. — Materia hay aquí para disputar y si no me engaño este es otro de los puntos en que discutiremos mas .

TEOD. — Entremos pues en materia .

### § VIII.

Sobre los tubos capilares .

EUJ. — ¿Decidme antes de todo qué viene á ser esto de *tubos capilares* ?

TEOD. — *Tubos capilares se llaman los que tienen diámetro pequeño como un cabello y por esto se llaman capilares.* Se observa , pues , que en los tubos capilares abiertos por los dos extremos , si los metemos á plomo en el agua sube esta por dentro de ellos ; y tanto mas sube sobre el nivel cuanto mas estrecho es el vacío del cañutillo . La proposicion es así . *En los tubos capilares sube el agua casi en razon inversa de los diámetros.* V. g. si los diámetros en los tres tubos de la (Fig. 55) ABC son como 1, 2, 4, el agua subirá en ellos á las alturas 4, 2, 1: siendo mayor la altura en el cañutillo mas estrecho , y menor en el que sea mas ancho . Decid á Silvio que os dé la razon de esta esperiencia constante .

SILV. — Este efecto procede del peso del aire , por cuanto el agua de los tubos es mas oprimida del aire que dentro de ellos ; y cuanto mas estrecho sea el tubo mas obstáculo habrá en la accion del aire , y oprimirá menos al fluido inferior ; y como es ley constante de los fluidos que oprimidos en una parte mas que en otra huyen por donde hallan menor opresion , el agua huirá hácia dentro de los tubos , á la manera que se introduce en la jeringuilla , al paso que se levanta el émbolo . Esta es la razon de subir en los tubos , y de subir mas cuando son mas estrechos .

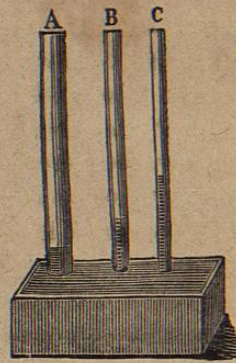


Fig. 55.



TEOD. — El amor á la verdad pide que confesemos que esta doctrina es falsa, y tenemos esperiencia convincente. Pongamos los tubos capilares dentro del recipiente, y sacado el aire pongamos los tubos sobre el líquido. (Fig. 54.) veremos que sube el agua en ellos del mismo modo que fuera del recipiente: introduzcamos despues el aire y el agua en los tubos, no hará mutacion alguna; luego este efecto no procede del peso del aire. Y á la verdad que el aire pasa con toda libertad por los tubos capilares para oprimir con su peso el fluido interior, pues pasa por agujeritos mucho menores, como lo experimentan los que acostumbran á usar de la máquina pneumática

EUG. — Otra debe ser la causa de este efecto, pues á este experimento no hay réplica

TEOD. — No dudo que sea la atraccion, porque ya visteis que sin mas causa que la atraccion subia el agua por las paredes de cualquier vaso, y atraida por ellas se suspendia mas alto que el nivel: ahora bien, si fuésemos aproximando las paredes interiores del vaso, disminuyendo el hueco que hay entre ellas, el fluido elevado por la una tocará en el fluido elevado por la otra, y se sostendrá en todas las paredes alrededor: esto pues hace un tubo capilar, por tener muy inmediatas las superficies interiores.

Para entender y esplicar bien este punto divida-

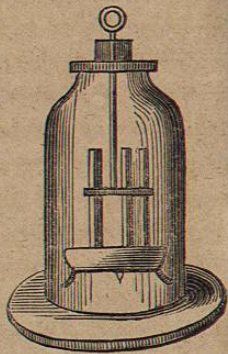


Fig. 54.

mos las columnas de agua elevadas dentro de los cañutillos en varias hojas circulares, tenuísimas y puestas unas sobre otras; lo que dijéremos de una porcion se dirá de las demas y de todas las columnas. Vamos pues á examinar las fuerzas atractivas y las masas que levantan, veremos si concuerda el efecto con la causa. Cuando los diámetros son diversos tambien lo son las circunferencias, y estas tienen entre sí la misma razon que los diámetros: de este modo, comparando el tubo mas estrecho C con el mas ancho A, que tienen los diámetros como 1 y 4, hallaremos que las circunferencias de los tubos son como 1 y 4. Pero cuanto mayor es una línea circular, en el vidrio mas partículas hay que puedan atraer el agua; y en este sentido la fuerza atractiva crece á proporcion con la circunferencia del tubo.

No obstante, cuanto mayor fuere la altura del agua dentro del tubo, tanto mas partículas de vidrio habrá que toquen en ella y la puedan atraer; debemos pues poner la atencion tambien en la altura y multiplicar la circunferencia por la altura del agua dentro del tubo, para conocer la cantidad de partículas atractivas que hay en él; y como en donde hay mayor circunferencia es menor la altura del agua, y esta altura disminuye en la misma razon en que crece la circunferencia, se compensa una cosa con otra, y en los dos tubos A y C la atraccion del vidrio es igual; porque en el estrecho la circunferencia 1 se multiplica por la altura 4, y en el mas ancho la circunferencia 4 se multiplica por la altura, y así viene á ser lo mismo.



Pero ademas de la atraccion que procede del vidrio tenemos otra que proviene de las partículas de agua ya suspensas y pegadas á él. Arrojemos una salpicadura de agua hácia un espejo, ó cualquier otro vidrio bien seco y á plomo: vemos que la salpicadura se conserva suspensa pegada al vidrio. Aumentemos mas el agua poco á poco con el cabo de una pluma levisimamente mojada, veremos que se va aumentando poco á poco, y aun sin caer haciendo bulto hácia fuera: en este caso las partículas pegadas al vidrio son atraídas por este; estas partículas atraen á otras, y estas á las que salen mas afuera, hasta tanto que el peso de todas sea tal que venga á disolver la union, y caerá casi toda la gota, quedando algunas partes de ella pegadas al vidrio, porque la adhesion del agua al vidrio es mas fuerte que la adhesion de las partículas de agua unas con otras. Esto supuesto, si sacásemos dos pedazos de espejo cada uno con una gota bien gruesa, y juntamos las dos, se pegarian y quedaria el agua péndula suspensa por ambas partes, pero de forma que las partículas del medio se sustentarian en las otras, estas en otras, y las últimas en el vidrio. Por esto, que me parece evidente, digo, que en el tubo capilar las partículas de agua que estan en el centro de estas porciones circulares se deben sostener en las otras inmediatas atraídas por ellas, estas en las siguientes, y las últimas en el vidrio; por consiguiente, si quereis examinar toda la fuerza de la atraccion que hay en los tubos, ademas de lo dicho debeis atender á los radios de cada tubo, esto es, al número de partículas que hay desde el centro

hasta las paredes del tubo, porque todas estas partículas son atraídas por las que ya estan suspensas, y atraen á otras mas distantes. En esta suposicion en el tubo ancho C el radio es, respecto del estrecho A, como 4 á 1: luego las fuerzas atractivas que hasta aquí se hallaban iguales, ahora en el tubo ancho C se hallan mayores que en A en la proporcion de sus radios, ó como 4 á 1.

Calculemos ahora el efecto de esta atraccion, y las columnas de agua elevadas sobre el nivel. En el tubo ancho C la columna tiene una basa diez y seis veces mayor que en A, porque las basas son círculos y estos son como los cuadrados de los diámetros: por consiguiente, si estos estan en la razon de 4 á 1, los círculos ó bases de las columnas estarán en la razon de 4 á 16. Atendamos ahora á la altura de ellas: en el tubo estrecho A la columna tiene la altura de 4, y en el ancho C tiene la altura de 1; multiplicando, pues, bases por alturas, para conocer el valor de las alturas tenemos en A la base 4, multiplicada por la altura 4, que vale 16, y en el ancho C tenemos la base 16 multiplicada por la altura 1, que vale 16; luego estan las masas ó cantidades de agua suspensa en los dos tubos como 4 á 16, lo que viene á ser una cuatro tantos de la otra, como lo eran las fuerzas atractivas.

Advierto que esta agua no está totalmente suspensa por la atraccion, lo que se prueba sacando el tubo fuera del agua inferior, que luego cae, y cuando mucho queda en el fin una porcion muy pequeña, y tal que el peso no sea bastante para disolver la union de las partes del agua entre sí, como su-



cede cuando mojamos la pluma en el tintero, de modo que la tinta cubra todo el corte, porque retirándola queda como una superficie circular que cubre el hueco de la pluma, y en el medio es mas delgada y trasparente, en la circunferencia mas densa y oscura; así pues sucede en los tubos capilares cuando no son demasiado anchos; cae el agua así que se saca fuera el tubo, y solo queda una porcion tan tenue, que la atraccion libró del peso: esta caída del agua tambien prueba que el agua inferior del tubo tambien sostenia parte del peso de las superficies circulares en que dividimos las columnas. Y por esto no se sostiene el agua en toda la altura del tubo; porque si cada superficie ó porcion circular del agua carga en parte en las superficies inferiores, en cargando mucho huye la inferior y baja la columna.

Falta dar la razon de una palabra *casi*, que yo contra todos los físicos añadí á la proposicion generalmente recibida. Todos suelen decir que la subida del agua está en razon inversa de los diámetros, y yo dije *casi razon inversa*; la razon de este escrúpulo mio es la experiencia comun y constante de la (Fig. 55, t. I.), vemos que la abertura de los dos vidrios disminuye en razon aritmética de 6, 5, 4, 3, 2, 1; y vemos tambien que el fluido no sube en esta razon, porque si así fuese haria una línea recta, como la *mn* de puntitos que yo hice en la figura: es verdad que esta línea sube en la razon aritmética de 1, 2, 3, 4, 5, 6, y no obstante el fluido hace una línea curva, que sube sensiblemente en la razon de 1, 4, 9, 16, 25, 36, que es la razon inversa de los cua-

drados de las distancias. Queriendo yo conciliar esta experiencia constante con la ley general no pude, y por eso la modifiqué con la palabra *casi*: el que no fuere escrupuloso no use de ella.

SILV. — Ahora falta responder á algunas dificultades que se oponen á esta doctrina. Mr. Jurin hizo varias experiencias, que en este punto merecen atencion, y las diré. Tomó un tubo por la parte superior muy estrecho y capilar (Fig. 55.), por la inferior

muy ancho de 7 ú 8 líneas mas, como los de un infundíbulo de que nos servimos para llenar los barómetros: metióle en el agua,



Fig. 55 y 56.

y le fue levantando sobre el nivel, y el agua se conservaba suspensa, y quedando todo el infundíbulo lleno de agua.

Quiso ver si esta suspension procedia de la atraccion de las partes que hacen la bóveda *mn*, la cual obra directamente contra el peso de agua inferior, y tentó esta experiencia (Fig. 56.): tomó el infundíbulo sin agua, y metiéndole en ella hasta casi tocar en la bóveda *mn*, le puso una gota de agua en el orificio del tubo capilar *o*, y le levantó despues: observó que el agua se suspendia muy superior al



nivel sin que tocase en la parte del vidrio que formaba bóveda para ser atraída por ella. Esto le hizo caer de ánimo para no atribuir á la atraccion la suspension del agua en los tubos capilares.

TEOD. — No obstante, yo hallo que aquí se debe advertir una cosa muy esencial. Si el tal infundíbulo (que ciertamente ni entra en la clase ni en la razon de los tubos capilares por ser demasiado ancho) se conserva lleno de agua en todo ó en parte sobre el nivel, es por estar tapado por arriba, sea con el dedo ó sea con agua, todo hace el mismo efecto. Si tapamos con el dedo el capilar, y levantamos el infundíbulo, vendrá con el agua, que tenia, poca ó mucha; como sucederia con un vaso volcado que tuviese un agujero en el asiento, y le tapásemos bien con el dedo. Aquí todos veian que era el peso del aire que cargaba en el líquido estérno, y no en el interno, el que obraba este efecto, como lo esplicaremos tratando del aire. Pero si en el fondo tuviese un agujero grande ó pequeño, mas tambien tapado, tendremos el mismo efecto y por la misma razon; y si fuere como el del capilar mas delgado de la esperiencia, con sola el agua se podrá tapar tan suficientemente como con el dedo, pues vemos que la proporcion del hueco del agujero ha de ser la resistencia que se opone á la entrada del aire.

Advierto que la presion del aire sobre un agujero, cuando debajo se forma algun vacío, es mucho mas fuerte que cuando debajo de él tenemos el aire en su compresion natural. Cuando yo hago esta esperiencia, tengo dentro del infundíbulo ó del vaso aire en su compresion natural, que resiste á todo

el aire superior, y se equilibra la elasticidad de uno con el peso del otro, y el agua es bastante para hacer cesar la entrada: no obstante, si se hiciere el vacío debajo por medio de la máquina, entonces disminuida la compresion y la elasticidad del aire inferior prevalece el peso del estérno y superior, y el agua no será bastante para hacer que cese la accion del peso que ha de ser vencedora.

Ahora vamos á averiguar el punto principal, y os diré las esperiencias que tengo hechas.

En primer lugar tomé cuatro infundíbulos de vidrio de aquellos con que se suelen llenar los barómetros (instrumentos que sirven para medir la presion del aire), cuyas bases eran de 40 á 42 líneas de diámetro, y los capilares en que terminaban eran muy tenues, bien que unos mas delgados que otros: los llené todos de agua con los capilares hácia abajo, y por dos salia el agua á hilo, por dos solamenté en gotas, por el uno mas lentas que por el otro; y de este modo conocí la diferencia de los diámetros que la vista no podia distinguir.

EUG. — Ingenioso fué el experimento.

TEOD. — Los sumergí sucesivamente á todos cuatro en el agua con los capilares hácia arriba, y ví que en los dos mas estrechos no entraba el agua, porque el aire interno no podia salir por los capilares ya mojados interiormente con la precedente esperiencia, escepto cuando los metia del todo en el agua, porque entonces salia el aire por los capilares con mucha dificultad, formando bombitas mas ó menos tardas, segun eran mas ó menos estrechos capilares. Luego los llené todos cuatro de agua, y volví los ca-



pilares hácia arriba, y ví que los dos mas estrechos, por donde el agua solamente salia en gotas, se secaban casi todos fuera del agua llenos de ella : en los otros dos mas anchos, en saliendo el orificio de los capilares 10 ó 14 líneas, de repente se desprendia el agua del capilar, y quedaba interiormente en el nivel de la exterior.

EUG. — Todo esto me parece muy conducente.

TEOD. — Tomé los dos mas estrechos, y llenándolos en parte de agua, los volqué con la boca hácia abajo sumergiéndolos en ella, dejando no obstante defuera los capilares y buena parte de la bóveda que hacia el infundíbulo; y tapando con el dedo seco los capilares, retirando despues los infundíbulos hácia arriba, el agua interior subia mucho mas al nivel, como sucede en cualquier otro vaso tapado por arriba. En seguida, en vez de tapar con el dedo seco los capilares, toqué con el dedo mojado, y ví que inmediatamente se llenaban de agua 6 ó 7 líneas del capilar; y que retirando despues mansamente el infundíbulo, subia con él el agua interior, y quedaba mucho mas arriba del nivel, como si el capilar estuviese tapado con el dedo, con haber grande intervalo entre el agua del grueso del infundíbulo y el capilar tapado con agua. Mas hice aun : saqué estos dos infundíbulos del agua, y volcando los capilares hácia abajo y arriba, el agua se conservaba en ellos por 11 y 12 líneas sin caer estando en el aire libre. Despues sacudí con fuerza los infundíbulos, y cayó alguna agua; pero siempre quedaba parte dentro, y solo soplando con fuerza

los vaciaba del todo. De estas esperiencias infero lo siguiente.

1º Que si la adhesion del agua al vidrio es tan fuerte en estos capilares, que ni sacudiendo el capilar con fuerza suelta el agua interna, y por eso puede tapar los capilares, de modo que la causa de la suspension del agua en los infundíbulos que terminan en capilares sea el estar tapado el capilar, esto basta para que el aire no entre á pesar sobre el agua interna, así como pesa sobre el agua esterna.

2º Que si el capilar no es tan estrecho, ya la adhesion del agua interna no es tan fuerte que pueda resistir al peso del aire, el cual crece conforme al cuadrado del diámetro interno del capilar, y por eso entra el aire, y el agua interna cae.

3º Que quanto se dice del infundíbulo que se conserva lleno, se dice tambien de aquel que se conserva mediado de agua, y va subiendo, porque la razon de estar vedada la comunicacion del aire esterno es la misma.

4º Que no es el anillo de la suprema superficie interna del capilar la causa de la suspension del agua, como quiere Mr. Jurin; ni el anillo ínfimo de la superficie interna del capilar es la causa de la suspension de los fluidos en los capilares y en los infundíbulos, como da á entender Mr. Clairaut, sino la que he dicho de la adhesion del agua al vidrio en los capilares, como tambien la de las partículas de agua unas á otras.

De lo dicho se infiere que en los cuerpos esponjosos, como son la verdadera esponja, el azucar en terrones, las torcidas mojadas y otros semejantes, el



licor ha de subir sobre el nivel, porque sus poros son tubos capilares tortuosos ó retorcidos, que no por eso pierden la virtud de atraer los fluidos, antes la aumentan, porque las columnas del fluido cuanto mas torcidas y retorcidas mas descansan en las partes sólidas, y menos peligro tienen de caer.

EUG. — Yo estoy enteramente persuadido que es la atraccion la causa que hace subir los líquidos por los tubos capilares.

SILV. — Enhorabuena, y puesto que yo no hago mas oposicion, id adelante.

TEOD. — Si no estais cansado, Eugenio, acabaremos esta tarde todo lo que hay que decir sobre los líquidos.

EUG. — En cuanto á mí, Teodosio, se me pasaria la noche sin que lo advirtiese. Acaso sea Silvio el que desee poner fin á la conferencia.

SILV. — Apuradamente hoy no tengo nada que hacer, y como por otra parte no puede faltar mucho, ya puede si quiere Teodosio acabar con los líquidos esta tarde.

TEOD. — Vamos pues á ello.

### § IX.

Trátase del movimiento de los líquidos, de la refraccion que sufre en ellos el paso de los sólidos y del roce que experimentan unos y otros.

EUG. — ¿Que vais á hacer con esta cubeta llena de agua? ¿por que soltais el líquido?

TEOD. — Mirad como se marcha el agua, bajándose su superficie horizontalmente: observad ahora, á medida que el líquido se acaba, como se forma en el centro una depresion encima de la abertura figurando una especie de embudo (Fig. 57).

EUG. — Lo que es el hecho para mí no es nuevo: siempre he visto lo mismo, en los embudos ya lo hace desde el principio, en los molinos de agua y en las rebezas: pero no sabia ni sé la causa, bien que ya casi la columbro,



Fig. 57.

TEOD. — En todos estos casos el agua forma este hundimiento, porque va agitada, y tanto mas pronto cuanto mas circular es el movimiento que se le da y única la forma del vaso ó local que contenga el líquido. La razón es que las moléculas del agua que bajan en líneas verticales hasta la abertura por donde escapan, deben de estar animadas de mayor velocidad que las que llegan por direcciones oblicuas; de suerte que el líquido ha de faltar encima de la abertura cuando hay todavía en las partes laterales. El movimiento circular produce el mismo efecto, porque las partículas líquidas adquieren una fuerza centrífuga que las aleja de la línea vertical. Si el orificio fuese lateral, no se formaria embudo; pero no dejaria de advertirse un hundimiento tanto mas considerable cuanto mas rápido fuese el derramamiento.

EUG. — Yo me figuraba que habia de ser una co-