

tra a utilização do carvão e a favor dos reactores de cisão, que têm demonstrado a sua completa segurança durante um período de muitos milhares de anos. Talvez se passem décadas antes que um sistema de controle de suficiente eficiência possa ser

desenvolvido de forma a acalmar os receios daqueles que têm a seu cargo a segurança do nosso povo.

(Traduzido da revista «Nuclear Engineering», pág. 368, Dez., 1956).

Experiências escolares sobre tensão superficial dos líquidos sobre lâminas de soluções de sabão

A) — Sobre tensão superficial dos líquidos

1. É costume comparar a superfície livre de um líquido a uma membrana elástica sujeita a uma tensão uniforme em todos os seus pontos. De facto, torna-se possível demonstrar, por experiências directas, que há uma estreita analogia entre o comportamento físico das membranas elásticas sujeitas a tensões que as mantenham uniformemente esticadas em todos os sentidos e o comportamento físico das superfícies livres dos líquidos. Esta analogia foi apresentada, pela primeira vez, por Segner (1704-1777) ⁽¹⁾ nos meados do século XVIII (1752) mas somente cerca de cinquenta anos mais tarde é que a respectiva teoria foi desenvolvida pelo físico inglês Young (1773-1829), em 1805 ⁽²⁾.

Vejamus em que consiste essa analogia.

2. Suponhamos uma membrana elástica (de cauchu, por exemplo), tensa uniformemente, e imaginemos que lhe davamos um golpe que a rasgava numa certa exten-

são. Procedendo assim veríamos os lábios do golpe afastarem-se um do outro em virtude da tensão elástica da membrana, deixando ficar, entre eles, um espaço vazio de forma biconvexa limitado por duas curvas, *a* e *b*. Se quiséssemos forçar os lábios do golpe a juntarem-se de novo teríamos de aplicar em todos os pontos dos segmentos *a* e *b* forças normais a esses mesmos segmentos, situadas em planos tangentes à membrana em cada um dos pontos considerados. Estas forças, capazes de recompor a membrana na região onde imaginámos que se lhe dera o golpe, deveriam ter exactamente o mesmo valor do que as forças que mantinham a membrana esticada antes de se golpear.

É claro que tudo se passaria análogamente qualquer que fosse a região da superfície da membrana que tivéssemos golpeado, e qualquer que fosse a direcção do golpe. Se imaginarmos, portanto, um segmento qualquer traçado sobre a superfície de uma membrana elástica, sujeita a uma tensão uniforme em todos os seus pontos, admitiremos que a membrana, nos pontos desse segmento, está sujeita a tensões que se igualam, de um e do outro lado do segmento, contidas em planos tangentes à superfície da membrana em cada

⁽¹⁾ Segner — *Commentationes Soc. sc. Goettingensis*. (Citação de Chwolson, em *Traité de Physique*, Tomo I, Fasc. 3.º, 1907).

⁽²⁾ Young — *Philosophical Transactions* — 1, pág. 65 — 1805 e *Lectures on natural philosophy* — II, pág. 649.

um dos seus pontos. O valor da tensão exercida, quer de um lado quer do outro desse segmento, pode avaliar-se fazendo desaparecer a união definida por esse próprio segmento, isto é, rasgando a membrana segundo ele e medindo as forças necessárias para a recompôr conforme estava.

3. Transfiram os raciocínios anteriores para o caso da superfície livre de um líquido. Imaginemos um segmento s traçado nessa superfície. Embora não possamos rasgar o líquido (como supusemos com a membrana) ao longo de s , poderemos supor que, de qualquer modo, conseguimos desfazer o contacto de s com a parte do líquido situada num dos lados de s , à sua esquerda ou à sua direita. Se isso fosse possível veríamos a parte do líquido situada do lado contrário puxar para si o segmento s , exactamente como no caso da membrana de cauchu.

A previsão teórica deste acontecimento resulta do conhecimento da existência das forças de coesão molecular. De facto, se imaginarmos a superfície livre do líquido constituída por moléculas iguais entre si, e uniformemente distribuídas, deverão manifestar-se nelas forças mútuas de coesão que as mantêm equilibradas. Se nos fosse possível retirar uma parte da superfície do líquido limitada por um segmento s , a restante superfície situada do outro lado de s , recuará solicitada pelas forças de coesão, assim desequilibradas, ao longo desse segmento.

4. Chamam-se forças de *tensão superficial* a estas forças de coesão que existem à superfície dos líquidos, orientadas segundo todos os sentidos e situadas em planos tangentes à referida superfície em qualquer região que se considere.

Suponhamos o segmento elementar dl situado na superfície líquida sobre o qual se exerce, quer à sua esquerda, quer à sua direita, a força de coesão dF . A grandeza

designada por tensão superficial, representada por T , avalia-se pela expressão

$$T = \frac{dF}{dl} \quad (1)$$

e os seus valores numéricos indicam-se, no sistema C. G. S., em dinaes por centímetro.

Quando o valor da tensão for o mesmo em todos os pontos de uma dada região da superfície livre do líquido, poderemos avaliá-la dividindo a intensidade total das forças de coesão existentes ao longo de um segmento de recta traçado na superfície dessa região pelo comprimento desse segmento, o que vem a corresponder à intensidade total das forças de coesão exercidas por unidade de comprimento do segmento.

5. Multiplicando ambos os termos da fracção (1) por dl , podemos dar outro significado à tensão superficial. Virá:

$$T = \frac{dF \times dl}{dl \times dl}$$

O produto $dF \times dl$ tem as dimensões de um trabalho (dW) e o denominador da fracção as dimensões de uma superfície (ds). Tere-mos assim:

$$T = \frac{dW}{ds}$$

Esta nova relação ajusta-se bem ao que dissemos anteriormente. Imaginemos o elemento dl traçado na superfície livre do líquido e sujeito, de um lado e do outro, tangencialmente à superfície, às forças dF . Se imaginarmos retirado o líquido de um dos lados de dl , o elemento ficará sujeito às forças dF que actuarão do lado oposto, fazendo-o deslocar-se e, portanto, efectuar um trabalho. A tensão superficial pode assim avaliar-se pelo trabalho dW efectuado pelo elemento dl quando as forças de coesão dF o obrigam a deslocar-se varrendo uma superfície elementar ds . Nestas con-

lições, a tensão superficial avalia-se, no sistema C. G. S., em ergs por centímetro quadrado.

6. Uma consequência da existência destas forças de tensão é a de conferir à superfície do líquido uma determinada resistência que lhe permite suportar o peso de certos corpos. Quando apoiamos um corpo sobre uma membrana elástica tensa, como o caucho, verificamos, à simples vista, que a membrana se deforma na região premida pelo corpo. O mesmo sucede com a superfície livre de um líquido.

1.^a Experiência — *Material:* uma lâmina de barbear e um recipiente largo, com água (copo, tina, etc.), de preferência de vidro.

Coloquemos a lâmina de barbear sobre a superfície da água contida no recipiente. Devemos ter o cuidado de pegar na lâmina de modo tal que, ao largá-la, caia de face na água. Convém largá-la de muito perto da superfície do líquido mas sem tocar com os dedos nele. A lâmina ficará assente sobre o líquido. Se, por qualquer imprevidência, caísse para o fundo, deveríamos secá-la antes de repetir a experiência.

Observe-se a situação em que a lâmina se encontra (para o que é necessário que o recipiente que contém o líquido seja de vidro). Repare-se em que *está assente sobre a água*, que não tem nenhuma parte imersa e que o líquido se deforma para receber a lâmina. Repare-se também na curvatura (convexidade) que o líquido apresenta em todo o contorno da lâmina.

2.^a Experiência — *Material:* uma rolha de cortiça e um recipiente de vidro. (Mantenha-se o material anterior).

Coloque-se a rolha sobre a água do recipiente e observe-se que parte dela fica mergulhada no líquido. Compare-se a situação da rolha com a da lâmina de barbear da experiência anterior. A rolha flutua;

está sujeita a uma impulsão da parte do líquido a qual equilibra o próprio peso da rolha. A lâmina, essa, não flutua. Não está sujeita à impulsão do líquido mas apenas assente na superfície deste, mantida pelas forças de coesão (tensão superficial).

Carregue-se com um dedo sobre a rolha forçando-a a mergulhar completamente e em seguida abandone-se. A rolha volta a flutuar. Carregue-se análogamente na lâmina forçando-a a mergulhar. A lâmina já não volta à superfície; cai para o fundo do vaso.

Confirma-se deste modo que o equilíbrio da lâmina sobre o líquido não era devido a qualquer efeito de impulsão. Faça-se notar que a lâmina é de aço cuja densidade (cerca de 8) é muito superior à da água e que, portanto, o seu peso é muito maior do que a impulsão que sofre quando está mergulhada nesse líquido. Por essa razão cai para o fundo. A cortiça, muito menos densa (0,24), flutua.

3.^a Experiência — *Material:* uma dezena de lâminas de barbear; recipiente com água.

Coloque-se novamente uma lâmina sobre a água com os cuidados referidos na 1.^a experiência. Sobre ela coloque-se uma segunda lâmina, depois terceira e quarta, e outras seguidamente. Convém coloca las, umas sobre as outras, em posições cruzadas, formando estrela. Conseguem-se sobrepôr assim oito lâminas sem se afundarem.

A experiência mostra a grande resistência que a membrana superficial da água apresenta à ruptura ⁽³⁾.

⁽³⁾ É tradição efectuar experiências deste tipo, demonstrativas da existência da tensão superficial, procurando colocar uma agulha de coser, em equilíbrio, sobre a água. Assim foi imaginada, há mais de meio século, por Arthur Good, perspicaz divulgador das ciências aplicadas, autor de *La Science Amusante*, obra que publicou em 1890 com o pseudónimo de Tom Tit. Aí declara (vol. I, pág. 95)

4.^a Experiência — *Material:* o objecto representado na fig. 1; grãos de chumbo; um vaso de vidro cilíndrico, que seja alto e largo, onde caiba, à vontade, em altura e em largura, o objecto referido.

Consta este objecto de um tubo de ensaio pequeno (comp. 15 cm) enfiado num batoque de cortiça (6 cm de diâmetro e 3 cm de altura, por exemplo). Instala-se no batoque um anel metálico (fio de cobre de 1 mm), de 12 cm de diâmetro (um tanto inferior ao diâmetro do vaso). Constroi-se bem o anel, conforme indica a fig. 2, com dois pedaços de fio de cobre que se curvam circularmente, na parte média, aproveitando a curvatura dum frasco re-

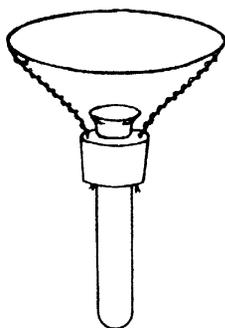


Fig. 1

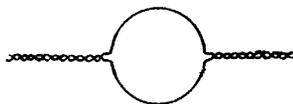


Fig. 2

ter sido ele o inventor dessa experiência, já então, à data, muito repetida, que tornara pública pela primeira vez num jornal intitulado *Le Chercheur*. Esta experiência exige que a agulha esteja previamente engordurada e também obriga a ter cuidados particulares com a sua colocação sobre o líquido: ou assentá-la sobre uma mortalha de cigarro que primeiramente se pôs a flutuar ou pô-la sobre o líquido transportando-a poisada nos dentes de um garfo (como aconselha Good) ou num gancho de arame de feitio apropriado. As experiências efectuadas conforme as imaginámos são de mais seguro resultado.

Além das lâminas de barbear também costumamos usar moedas, certas moedas de alumínio (por exemplo espanholas e francesas) que se podem assentar sem dificuldade na superfície livre do líquido.

Como variante costumamos ainda empregar um fio de alumínio (diâmetro: 0,5 mm; comprimento: 70 cm) a que damos a forma de hélice, com as espiras bem afastadas umas das outras, enrolando-o à volta de um tubo de ensaio largo (diâmetro exterior: 2,5 cm). A hélice mantém-se poisada, no sentido do comprimento, sobre a superfície do líquido. Este, e qualquer outro material empregado para o efeito, deve estar sempre bem seco.

dondo e largo, e torcendo o que restar do fio, de um e do outro lado (12 cm de cada lado, depois de torcido).

Deita-se água no vaso e põe-se o objecto a flutuar, forçando-o a mergulhar um pouco para que o tubo de ensaio se encha de água, a qual fará de lastro. Introduzam-se no tubo de ensaio alguns grãos de chumbo, pouco a pouco, até que o anel fique a cerca de 3 cm acima da superfície livre da água. Então, com os dedos, baixamos o anel até que toque na superfície do líquido e largamo-lo suavemente. É possível (e é o que interessa) que fique preso na água, elevando-se dela um pouco, e, se assim for, teremos provocado um equilíbrio entre as forças de impulsão e as de tensão superficial. Atinge-se sempre este resultado graduando convenientemente o número de grãos de chumbo que se introduzem no tubo.

Observe-se também que, conseguido aquele equilíbrio, se nota uma lâmina de água presa em toda a extensão do anel de metal erguida sobre a superfície do líquido e que chega a atingir 1 cm de largura (4).

5.^a Experiência — *Material:* um copo com água (de preferência cônico e alto); pó de licopódio.

Polvilhe-se, com abundância, a superfície da água do copo, cobrindo-a completamente com pó de licopódio muito fino. Convém polvilhar empregando um pimenteiro de orifícios muito estreitos. Intro-

(4) O objecto utilizado nesta experiência foi imaginado por sugestão de um outro, que nos parece menos adequado, construído pelo fisico belga Van der Mensbrugge e exposto na Conferência que então proferiu na *Société belge de Microscopie*. A Conferência vem resumida em *La Nature*, Julho de 1888, págs. 135 a 139. O fenómeno observado nesta experiência é o mesmo que se verifica quando se colocam determinadas massas no prato superior de um areómetro do tipo do de Nicholson, em flutuação. Consegue-se assim também o equilíbrio entre as forças de impulsão e as de tensão superficial.

duza-se um dedo (o indicador), devagar, no líquido, normalmente à superfície livre. Ver-se-á o lícopódio acompanhar o movimento do dedo ao entrar na água, rodeando-o como se o líquido fosse um flexível dedo de luva. Retire-se o indicador e observe-se que vem seco. Vem apenas coberto de pó.

A experiência sugere que a suposta membrana superficial da água sofre uma extensão forçada pela penetração do dedo, como se fosse elástica ⁽⁵⁾.

6.ª Experiência — *Material:* uma tina com água, das que se usam nos laboratórios de Química (diâmetro 23 cm; altura 8 cm); 4 marcas de jogo, redondas (diâmetro 3 cm) ou botões grandes de casaco, ou discos de madeira; pincel de aguarelar; pedaço de sabão qualquer.

A tensão superficial não tem o mesmo valor para todos os líquidos nem para as diferentes soluções no mesmo dissolvente. Exceptuando o mercúrio, cuja tensão superficial é excepcionalmente elevada, avulta a da água em comparação com a dos outros líquidos.

Suponhamos que se deixa cair uma gota de um líquido (éter, por exemplo) menos denso do que a água, sobre a superfície livre desta. A gota, ao cair, dispõe-se formando um círculo (fig 3). Na fronteira deste círculo encontram-se, em presença, moléculas de água e moléculas de éter. As forças que se manifestam nessa fronteira são: a) a tensão superficial exercida entre as moléculas da água, a qual tensão tende a fazê-las recuar e, portanto, a alar-

gar o círculo ocupado pelo outro líquido; b) a tensão superficial, muito menor do que a anterior, exercida entre as moléculas desse outro líquido (éter) e que tende a diminuir a superfície circular que ocupa; c) e as forças de acção mútua entre as moléculas dos dois líquidos em presença na fronteira onde se encontram. O conjunto destas forças não está em equilíbrio. A elevada ten-

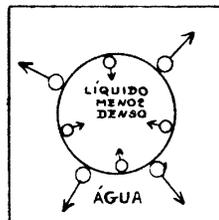


Fig. 3

são superficial da água provoca um retraimento rápido da sua camada superficial assim que nela se deita a gota do outro líquido. Este, em consequência disso, espalha-se imediatamente pela superfície, originando assim um movimento tangencial que se pode pôr em evidência experimentalmente.

Servimo-nos, para o efeito, de marcas de jogo que são leves por serem de plástico e coloridas o que torna a experiência mais vistosa. É claro que também podem servir, por exemplo, botões redondos e grandes, de materiais leves, ou simples discos de madeira.

Deita-se água na tina e espera-se que sossegue completamente. Colocam-se quatro dos objectos indicados sobre a água e ajustam-se de modo a encostarem-se mutuamente na região central da superfície do líquido (fig 4). Molha-se, à parte, um pincel de aguarela em água, levemente, e esfregam-se os seus pelos sobre um pouco de sabão. Toca-se com as pontas dos pelos do pincel, assim cobertos de sabão, na superfície serena da água da tina,

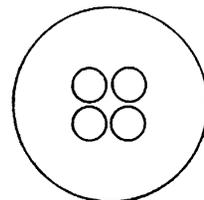


Fig. 4

no pequeno intervalo do líquido situado entre os quatro discos. Imediatamente, com rapidez inesperada, vemos os discos serem disparados em linhas rectas, ao longo

⁽⁵⁾ É corrente efectuar esta experiência usando mercúrio, em vez de água, sobre o qual se lança o pó fino, e introduzindo nele uma vareta de vidro, de preferência engordurada. Turpain (*Leçons élémentaires de Physique*, vol. I, pág. 161) chama-lhe «experiência de Pasteur». A opacidade do mercúrio torna preferível, didacticamente, o emprego da água. O dedo, em vez da vareta, dá resultado mais seguro.

da superfície da água, até encontrarem as paredes da tina.

O sabão, ao dissolver-se, formou uma solução de tensão superficial muito inferior à da água, o que deu origem à rápida propagação de uma onda circular da solução obtida, do centro da tina para a periferia (6).

7.ª Experiência — *Material*: tina com água, como a anterior; espiral de fio de alumínio; pincel de aguarelar; pedaço de sabão.

Dobra-se, à mão, um fio de alumínio (comprimento 50 cm; diâmetro 1 mm) dando-lhe a forma de uma espiral plana com o número de voltas representado na fig. 5, de modo que as voltas distem entre si uns 2 cm. Coloca-se a espiral, cuidadosamente, sobre a água serena da tina. Cobre-se bem o pincel de sabão e toca-se com os seus pelos na superfície da água na região interior da primeira curva da espiral e mantém-se o pincel em contacto com o líquido sem se afastar do lugar em que se tocou. No mesmo instante vemos a espiral iniciar um movimento de rotação, em sentido contrário ao da sua curvatura, de tal modo que o pincel, mantido sempre fixo, percorre todo o interior da espiral até sair dela.

Esta experiência, que é muito interessante de ver, tem a mesma explicação da anterior (7).

8.ª Experiência — *Material*: um pequeno vaso de vidro (um copo de preci-

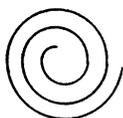


Fig. 5

pituação, por exemplo); éter; pó de licopódio; tina com água.

Deitam-se algumas gotas de éter no vaso de vidro e move-se este de modo que o fundo e as paredes interiores fiquem bem humedecidas. Escorre-se o éter que porventura tenha sobejado e tapa-se o vaso o qual ficará assim cheio dos vapores invisíveis daquele líquido.

Deita-se água na tina e, depois de serenada, polvilha-se bem a sua superfície, por meio de um pimenteiro, com pó de licopódio. Pega-se no vaso anterior, destapa-se, e inclina-se sobre a região central da água da tina, perto dela, como se estivessemos a despejar um líquido, o que fará descer sobre a água os vapores do éter. Imediatamente, e com grande violência, todo o pó foge para a periferia da tina, em virtude da rápida diminuição do valor da tensão superficial do líquido na região onde os vapores do éter se condensaram.

A experiência é extremamente sugestiva e elucidativa e torna-se chocante para os observadores se tivermos preparado, previamente, o vaso com os vapores de éter fora da vista dos assistentes, dando assim a impressão de que estava vazio (8).

9.ª Experiência — *Material*: uma proveta exsicadora de gases à qual se adapta um tubo de vidro dobrado conforme indica a fig. 6; um pequeno vaso de vidro como o da experiência anterior; éter.

Deita-se água na proveta até a encher, tendo o cuidado de colocar a extremidade *a* do tubo lateral sobre uma tina ou bacia que receba a água que for em excesso. À medida que o líquido se

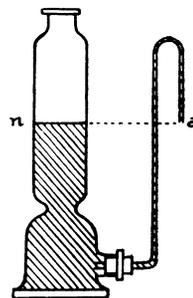


Fig. 6

(6) Variante que imaginámos, mais sugestiva, de uma experiência descrita por Arthur Good, com o título de *Les allumettes gourmandes*, na obra citada, vol. II, pág 77.

(7) Experiência apresentada por Arthur Good na obra citada (Vol. III, pág. 35) e que intitulada *La spirale tournante*. A que apresentamos só varia em pequenos pormenores.

(8) Experiência indicada por Chwolson, em *Traité de Physique* — Tomo I, Fasc. III, pág. 597.

escôa por a o seu nível desce na proveta até parar em n , ao nível de a . Convém então já não mexer na proveta para não perturbar o equilíbrio do líquido.

Deite-se um pouco de éter no pequeno vaso de vidro e aproxime-se bem a superfície deste líquido da extremidade a . Passados instantes ver-se-á a água começar a

escoar-se outra vez do tubo de vidro até atingir nova situação de equilíbrio.

O fenómeno é devido à dissolução dos vapores do éter na última gota de água que ficara suspensa em a . A dissolução provocou uma notável diminuição no valor da tensão superficial, tornando-a insuficiente para suportar o peso da gota ⁽⁹⁾.

B) — Sobre lâminas de soluções de sabão

7. Quando se dissolve sabão em água a solução obtida apresenta uma tensão superficial de valor muito inferior à do líquido puro. Contudo, uma solução desta natureza presta-se à execução de interessantíssimas experiências, nas quais, além da tensão superficial, influem, e preponderam, outros factores cujo estudo tem atraído as atenções dos físicos. As bolas de sabão que as crianças fazem colhendo uma pequena película de água de sabão na extremidade de um tubo aberto e soprando pela outra, são consequência das propriedades particulares que a água adquire quando nela se dissolve o sabão. É frequente também, quando lavamos e ensaboamos as mãos, vermos formar-se uma lâmina de água de sabão entre o indicador e o polegar quando unimos as extremidades destes dois dedos e os arqueamos em anel. Soprando essas lâminas forçamo-las a curvarem-se, o que mostra bem a sua elasticidade.

8. As lâminas e as bolas de sabão têm sido motivo de pacientes estudos desde há um século para cá. Encontra-se, nos livros de Física e nas «memórias» científicas, grande número de receitas para obtenção de soluções capazes de fornecerem lâminas e bolas de grande resistência e duração. Os resultados obtidos têm ultrapassado tudo quanto se poderia imaginar, a ponto de quase não ser exagero afirmar-se a possibilidade de se obterem lâminas e bolas de sabão que se conservem eternamente.

As soluções empregadas nos mais antigos estudos sobre este assunto eram ou de água e sabão ou de água, sabão e glicerina.

O sabão mais indicado para este efeito é o de azeite, mas de azeite da melhor qualidade. Há anos atrás era fácil encontrar-se no mercado um sabão, que parece ter caído em desuso, chamado *sabão de Marselha* ou *sabão de Castela* conforme a sua proveniência, obtido a partir de azeite e o melhor para estas soluções. Há, porém, muitas receitas para o mesmo fim em que se utiliza um sabão qualquer, ou em solução simples ou adicionando-lhe glicerina que aumenta a viscosidade do líquido e retarda muito a sua evaporação, como convém, ou adicionando-lhe açúcar e tanino ⁽¹⁰⁾.

Indicaremos algumas receitas para correspondermos às diferentes possibilidades

⁽⁹⁾ Experiência indicada por Turpain na obra citada (Vol I, pág 162). Turpain apresenta um vaso de feição particular, de aquisição pouco fácil. Imaginamos a sua substituição por uma proveta exsiccadora e tubo dobrado, como a fig. 6 indica, o que em qualquer laboratório se improvisa.

⁽¹⁰⁾ As primeiras experiências relativas a lâminas de soluções de sabão devem-se ao físico belga Plateau (1801-1883) cujas «memórias» foram publicadas em *Memoires de l'Académie de Belgique*, de 1843 a 1863. Plateau serviu-se de soluções aquosas de sabão e glicerina que ficaram conhecidas por «líquido glicérico de Plateau», e que outros, posteriormente, melhoraram.

de quem se utilizar destes apontamentos, de entre aquelas que experimentámos.

Uma receita simples em que se emprega um sabão qualquer é a seguinte ⁽¹¹⁾:

água	1000 g
sabão	100 g
açúcar branco	400 g
umas gotas de formol	

Outra receita, muito melhor que a anterior, em que se utiliza o sabão de Marselha, de azeite, é a seguinte ⁽¹²⁾:

Deitam-se 30g de sabão de Marselha num frasco de litro que se enche, em seguida, de água destilada. Agita-se de vez em quando até que todo o sabão se tenha dissolvido e deixa-se repousar a solução durante 24 horas pelo menos. Retira-se com um sifão a parte límpida do líquido e e juntam-se-lhe $\frac{3}{10}$ do seu volume de glicerina. Mistura-se bem e deixa-se descansar durante 24 horas antes de se utilizar. A solução deve ficar guardada ao abrigo da luz e bem rolhada ⁽¹³⁾.

Outro líquido que também dá resultados satisfatórios é o chamado *líquido glicérico de Terquem* ⁽¹⁴⁾. Consta de duas soluções. A primeira obtem-se dissolvendo 74,2 g de sabão (qualquer) em 1 litro de álcool a 80° (d = 0,865); a segunda, misturando água e glicerina em volumes iguais. Juntam-se as duas soluções na proporção de 25 cm³ da primeira para 100 cm³ da segunda. Aquece-se até ferver, prolongando a ebulição para que todo o álcool seja expulso. Deixa-se resfriar e perfaz-se o volume inicial por

adição de água. Filtra-se através de algodão e juntam-se algumas gotas de formol.

9. As indústrias químicas modernas fabricam substâncias que se prestam à preparação de soluções (excelentes, segundo parece) para obtenção de lâminas e de bolas. Não nos servimos de nenhuma delas por não termos adquirido essas substâncias mas indicamo-las porque pode ser útil a outros conhece-las.

James Dewar (1842-1923), o notável físico inglês conhecido pelos seus trabalhos sobre liquefacção dos gases, também se dedicou, demoradamente, ao estudo das lâminas e bolas líquidas, considerando como melhor uma solução, a 5%, de oleato de trietilmetilamina ⁽¹⁵⁾. Mais recentemente a *American Cyanamid Chemical Corporation*, de Stamford, Connecticut, lançou no mercado um produto com a designação de *Aerosol O. T.*, que tem sido experimentado com grande êxito para o fim de que tratamos ⁽¹⁶⁾. Dissolve-se o Aerosol, sólido, na proporção de 2 g para 98 g de água destilada, num frasco. Agita-se de vez em quando durante 24 horas. A solução fica sobressaturada, com o excesso do sólido em suspensão, o qual se dissolve quando se lhe junta açúcar ou glicerina, ou ambas estas substâncias. Adicionando 11,5 g de glicerina a 25 cm³ da solução anterior de Aerosol (a 2%), obtem-se uma solução que permite fazer lâminas resistentes que duram cerca de 4 minutos. Adicionando açúcar, em vez de glicerina, em porções crescentes até ao limite de 10 g por 25 cm³ de Aerosol (a 2%), obtêm-se lâminas sucessivamente mais resistentes até que, para esse limite de 10 g, ou para quantidades supe-

⁽¹¹⁾ Henri Abraham — *Recueil d'expériences élémentaires de Physique* — Paris, 1904, 1.º vol., pág. 166.

⁽¹²⁾ Extraída do artigo *Tough Soap Films and Bubbles*, publicado no *Journal of Chemical Education*, em Abril de 1938, por G. A. Cook.

⁽¹³⁾ O autor desta solução (nota anterior) aconselha que se lhe junte um pouco de tanino na razão de 50 mg por cada 25 cm³. Ao utilizá-la deve-se retirar do frasco apenas o volume da solução que for preciso e a este juntar o tanino.

⁽¹⁴⁾ Henri Abraham — obra e pág. citadas.

⁽¹⁵⁾ James Dewar — *J. Franklin Inst.*, Vol. 188, 1919; *Proceedings of Royal Institution*, Vol. 24, 1925; e *Reports on talks by J. Dewar*, por Anon, em *Engineering*, Vol. 101, 1916 e Vol. 105, 1918.

⁽¹⁶⁾ A. L. Kuehner — *New tough films and bubbles*, em *Journal of Chemical Education*, Abril de 1948, págs. 211-212.

riores, a película solidifica. Tratando-se de bolas sopradas podem-se fazer rolar pelo chão sem se quebrarem. Juntando simultaneamente açúcar (20 g) e glicerina (13,5 cm³) a 25 cm³ de Aerosol a 2%, obtêm-se lâminas que duram cerca de 2 horas e meia e bolas que duram 20 minutos, segundo as informações do autor que citámos (na nota anterior).

10. Dewar, e o seu assistente Lawrence, procuraram estudar as causas que se opõem a uma longa vida das películas de sabão e concluíram que isso se devia principalmente à presença do anidrido carbónico na atmosfera, aos estearatos e palmitatos que figuram na composição dos sabões e que formam resíduos sólidos à superfície das lâminas, e ainda às poeiras do ar. Dewar e Lawrence, trabalhando em condições excepcionalíssimas, usando soluções de oleato de sódio rigorosamente purificado e empregando um «ar» obtido pela evaporação de ar líquido, isento de poeiras e de anidrido carbónico, mantiveram, em vasos fechados, bolas de 40 cm de diâmetro que duraram 100 dias e lâminas de 19 cm que duraram 3 anos ⁽¹⁷⁾. A vida média das lâminas é sempre muito superior à das bolas.

11. De todas as soluções que experimentámos a que nos deu melhores resultados foi a de oleato de sódio e é essa que aconselhamos para as experiências escolares. O oleato de sódio puro adquire-se nos estabelecimentos da especialidade em embalagens de 100 g ou de 500 g, à razão de 154\$00 o quilograma (preço actual), de fabrico alemão (*Riedel-de Haën A. — G., Seelze b. Hannover*). Apresenta-se em pó, levemente amarelo.

Há várias receitas para fazer a solução do oleato mas, a que nos pareceu melhor, é a indicada por C. V. Boys, em *Soap bubbles*,

their colors and the forces which mold them — New York City — 1924. É a seguinte. Dissolvem-se 25 g de oleato de sódio puro em 750 cm³ de água destilada, agita-se e deixa-se ficar a dissolver bem durante um dia. Ao fim desse tempo juntam-se 250 g de glicerina e agita-se fortemente. Deixa-se repousar durante 8 dias num sítio fresco e escuro. Então, se tiver espuma, retira-se a parte líquida com um sifão e juntam-se-lhe 3 a 4 gotas de amónia concentrada. Deve-se conservar sempre ao abrigo da luz e não se agitar quando for servir.

Convém, para as experiências que indicamos, preparar 2 litros da solução, isto é, duplicar os valores da receita.

O líquido obtido é amarelo e faz uma espuma muito transparente e colorida. Com esta solução fizemos bolas de 30 cm de diâmetro soprando o líquido por um pequeno funil de vidro muito bem lavado, e molhado previamente nos bordos com a própria solução. Estendendo, sobre uma mesa, um pedaço de flanela bem seca, pode-se libertar a bola dirigindo-a para o pano onde ficará em equilíbrio, sem rebentar, durante algum tempo. Para este último efeito não convém soprar por um funil nem fazer bolas excessivamente grandes. Deve-se empregar um tubo (de vidro, por exemplo) donde a bola se desprenda facilmente com um gesto sacudido da mão.

12. Como já fizemos notar, a existência da tensão superficial das soluções que fornecem lâminas ou bolas duradouras não é suficiente para explicar essa possibilidade. As experiências efectuadas têm demonstrado que as boas soluções, para esse efeito, devem possuir uma tensão superficial de cerca de $\frac{1}{3}$ da tensão da água o que denota bem que há outros factores que influenciam, de maneira decisiva, aqueles fenómenos. É hábito, porém, no ensino elementar, fazer referência às lâminas e às bolas de sabão na altura em que se estuda a tensão superficial como se esta fosse o factor de maior importância. Convirá não deixar ficar, nos

⁽¹⁷⁾ A. S. C. Lawrence — *Soap films*, Londres, 1929.

alunos, a impressão de que tais fenómenos, que se observam tão bem com as soluções de sabão e não com outros líquidos, sejam devidos a uma elevada tensão superficial dessas soluções. Pelo contrário, é necessário que a sua tensão seja baixa, inferior até à de alguns líquidos bastante voláteis como o benzeno, a essência de terebintina ou o sulfureto de carbono.

A razão de ser do comportamento destas soluções de sabão não é suficientemente conhecida. A camada superficial da solução não só manifesta propriedades físicas particulares como também propriedades químicas diferentes das camadas interiores. É sabido, por exemplo, que as soluções aquosas de sabão apresentam acentuado carácter alcalino. Contudo, a camada superficial dessas mesmas soluções manifesta reacção ácida ⁽¹⁸⁾.

A composição de uma solução de sabão é extremamente complexa. A substância encontra-se em parte dispersa molecularmente e em parte coloidalmente, com ambas as partes em equilíbrio hidrolítico. Na camada superficial parece que se dispõe uma zona monomolecular com todas as suas moléculas orientadas de certa maneira. A experiência, favorável a esta hipótese, mostrou ser possível obter lâminas líquidas usando apenas água que previamente se cobriu de finíssima camada monomolecular de ácido oleico.

Interessa pois acentuar, repetimos, em virtude de todas estas particularidades, a conveniência de informar os alunos de que a formação das lâminas e das bolas de sabão pouco deve à tensão superficial das soluções empregadas. Lawrence afirma mesmo que nada lhe deve: *soap films do not exist as a result of surface tension, but in spite of it.*

10.^a Experiência — *Material*: solução aquosa de oleato de sódio e glicerina (segundo a receita que apontamos como nos parecendo a melhor) contida num vaso cilíndrico, de vidro, alto e largo (por exemplo 25 cm de altura e 15 cm de diâmetro); armação de arame, de forma rectangular (10 × 13 cm), munida de haste (fig. 7).

Empregámos nesta armação, e em todas as seguintes, arame de zinco de 2 milímetros de diâmetro, que se dobra facilmente com um alicate. As duas partes do arame que saem do rectângulo devem ser soldadas ou bem atadas com voltas sucessivas de linha grossa de coser, numa extensão de 2 ou 3 cm.

Esfrega-se o rectângulo com as pontas dos dedos molhadas na solução de sabão e introduz-se assim, verticalmente, no líquido de modo que fique todo mergulhado. Introduce-se devagar e retira-se devagar. Ao retirá-lo vê-se que o rectângulo traz presa aos seus lados uma bela lâmina da solução facilmente visível pelas tonalidades coradas que adquire.

As lâminas assim obtidas são formadas por duas superfícies tensas, uma em cada face da armação de metal, separadas por uma pequena espessura de líquido. Esta hipótese, que continua a ser aceita, foi apresentada em 1890 por Rayleigh ⁽¹⁹⁾.

O físico que ideou estas armações de metal para o estudo das propriedades das soluções de sabão foi o belga Van der Mensbrugghe (1835 ?) a quem se devem algumas curiosas experiências que se tornaram clássicas no ensino ⁽²⁰⁾.

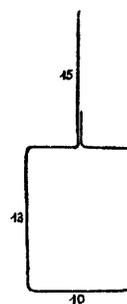


Fig. 7

⁽¹⁸⁾ A. S. C. Lawrence — *Soap films and colloidal behaviour*, em *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. XXXIV, 1930, págs. 263-272.

⁽¹⁹⁾ Lord Rayleigh — *Proceedings of Royal Society*, Vol. 47, pág. 281, 1890.

⁽²⁰⁾ As experiências de Van der Mensbrugghe vêm publicadas no *Bulletin de l'Académie de Belgique*, anos 1866, 1875, 1886, 1889, 1891, 1892, 1893 e 1899,

sica. A linha suspensa pode ter, por exemplo, 3 cm desde a suspensão até ao anel, e 14 cm para perímetro deste ou seja 7 cm de comprimento quando estiver esticado. Introduce-se o conjunto, verticalmente, na solução e depois de previamente humedecido com a mesma. Retira-se e verifica-se que a linha vem colada à lâmina líquida e disposta sobre ela de qualquer forma irregular ⁽²³⁾. Fere-se então a região do líquido situada no interior do anel de modo a romper essa porção da película, o que se consegue tocando-lhe com a ponta de uma soveia, ou de um lápis, ou de uma torcida de papel ou de mataborrão, ou com um dedo, com a condição, seja o que for, de estar seco. Imediatamente, assim que se rompe a região interior do líquido vemos anel de linha tomar a forma rigorosamente circular (fig. 14)

o que prova não só que existe uma tensão superficial (da parte da restante lâmina líquida) que se manifesta em todas as direcções (normal à circunferência em cada ponto) como também que essa tensão tem o mesmo valor numérico em todas as direcções (em virtude de a curva ser uma circunferência).

Depois de obtido o anel circular pode-se mover a armação de arame forçando o anel a oscilar e a deslizar ao longo dos lados maiores do rectângulo ⁽²⁴⁾.

14.ª Experiência — *Material*: a solução de oleato; um tronco de cone, de vidro, aberto nas duas extremidades.

⁽²³⁾ Não convém que a linha venha enredada ou torcida mas pouco mais ou menos como indica a fig. 13, o que se consegue abrindo o anel de linha com os dedos antes de o introduzir no líquido.

⁽²⁴⁾ Na experiência original de Mensbrugge o anel de linha não estava suspenso mas solto, o que prejudica muito o êxito da experiência. Os livros mais modernos trazem o anel suspenso, como convém.

Convirá para esta experiência utilizar um tubo tronco-cónico de cerca de 25 cm de geratriz cujas bases tenham o diâmetro de cerca de 8 cm e 5 cm. Na falta de um tubo próprio serve um daqueles vasos tronco-cónicos que fazem parte da colecção de vasos dos aparelhos de Masson ou de Haldat usados no estudo da Hidrostática e que é costume existirem em Gabinetes de Física dos estabelecimentos de ensino. Na falta de qualquer destes vasos poder-se-á efectuar a experiência com um funil de vidro.

Em primeiro lugar humedece-se muito bem todo o interior do tubo (ou do funil) com a própria solução do oleato. Toca-se então na superfície livre do líquido com a boca mais larga do tubo e retira-se depois mantendo-o vertical. Ver-se-á então (fig. 15) que a película circular que veio presa na boca do tubo, começa a ascender ao longo dele até atingir a outra extremidade ⁽²⁵⁾.

A explicação de fenómeno é simples. O vector tensão superficial (T , fig. 16) aplicado em todos os pontos (P , por exemplo) da periferia da lâmina circular, junto da parede interna do tubo e dirigido para o centro dessa lâmina, decompõe-se em dois vectores, F e N , o primeiro na direcção da parede (F) e o segundo normal a ela (N), ambos aplicados em P e ambos situados no plano que contém T e é normal ao plano da lâmina. O vector F , orientado para o lado da base menor do tubo, obriga a lâmina de sabão a deslizar ao longo das paredes até atingir essa mesma base (desde que a superfície interior do tubo esteja bem humedecida).

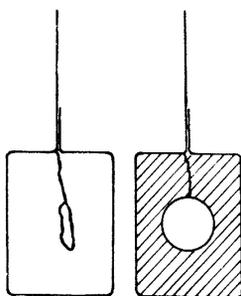


Fig. 13

Fig. 14

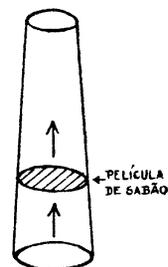


Fig. 15

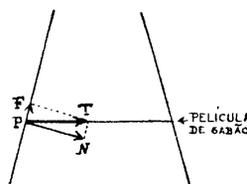


Fig. 16

⁽²⁵⁾ Recolhemos esta experiência na já citada obra de Arthur Good, Vol. III, pág. 129.

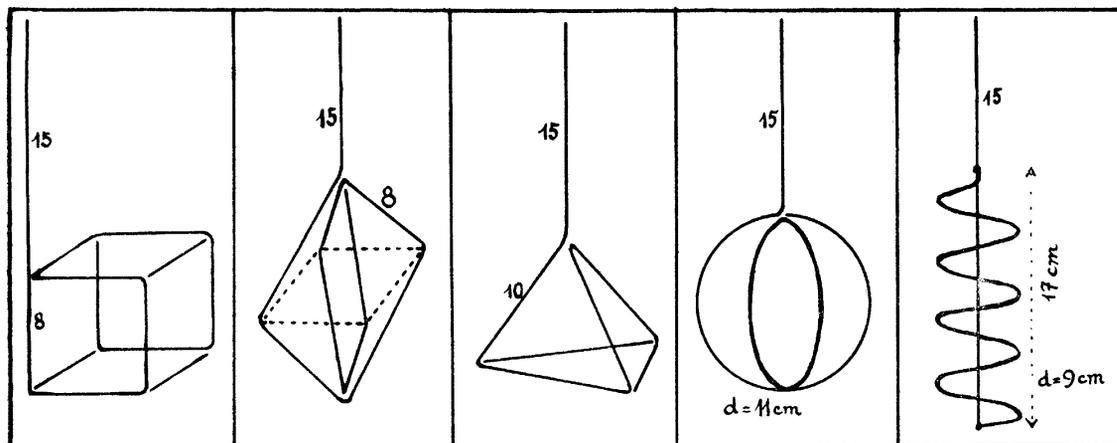


Fig. 17

Fig. 18

Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21

15.^a Experiência — *Material*: a solução de oleato; armações de arame de zinco para obtenção de figuras de equilíbrio com lâminas líquidas (figs. 17 a 21).

Estas belas figuras de equilíbrio foram imaginadas e realizadas pelo físico belga Plateau (1801-1883) ⁽²⁶⁾ e encontram-se descritas em qualquer Tratado de Física Geral. As armações necessárias constroem-se sem dificuldade com arame de zinco (de 2 mm), um alicate e solda (ou linha para atar em substituição da solda). As armações mais fáceis de construir e que permitem obter aspectos muito sugestivos são as que se vêm representadas nas figuras 17 a 21, acompanhadas das respectivas medidas. Também se percebe, olhando os desenhos, qual a melhor maneira de construir cada armação.

a) *modelo do cubo* (fig. 17). Começando pela pega de 15 cm dobra-se o arame de modo conveniente obtendo 9 arestas sucessivas do cubo. As restantes 3 arestas serão soldadas (ou atadas) à parte.

b) *modelo do octaedro* (fig. 18). Dobra-se o arame construindo sucessivamente as 8

arestas que a figura mostra desenhadas a cheio. As 4 arestas indicadas a tracejado são dobradas numa só peça e soldadas às anteriores.

c) *modelo do tetraedro* (fig. 19). Dobra-se o arame construindo sucessivamente 5 arestas do tetraedro. A aresta restante é soldada em separado.

d) *modelo das duas circunferências normais entre si* (fig. 20). Dobra-se o arame construindo uma só das circunferências. A outra é feita e soldada à parte.

e) *modelo da hélice* (fig. 21). Dobra-se o arame em hélice enrolando-o, por exemplo, em torno de um frasco cilíndrico, ou de uma garrafa vulgar, e soldam-se as suas extremidades a um arame recto conforme a figura representa.

Para obter as figuras de equilíbrio introduzem-se as armações na solução depois de previamente humedecidas com a mesma. Os movimentos de introdução e retirada dos modelos devem fazer-se sempre devagar. O líquido vai escorrendo lentamente à medida que se retiram as armações fixando-se nelas apenas certas películas que se dispõem de modo a satisfazer determinadas condições de equilíbrio do conjunto conforme foi estudado por Plateau. As figuras 22 a 26

⁽²⁶⁾ As *Memórias* de Plateau encontram-se publicadas nas *Mémoires de l'Académie de Belgique*, nos anos de 1843 a 1863.

mostram o aspecto obtido em cada um dos casos.

A armação do modelo relativo à forma cúbica pode fornecer dois conjuntos de equilíbrio diferentes. São os que se veem nas figuras 22 e 27. Quando se inicia a experiência e se retira a armação (o modelo cúbico) do líquido, obtém-se a disposição da fig. 22. É a partir desta que se forma a da fig. 27. Para isso torna-se a introduzir no líquido a mesma armação, conforme está, com a figura de equilíbrio já obtida (a da fig. 22), mas introduz-se agora apenas até $\frac{1}{4}$ da altura da aresta, lentamente. Procedendo assim fica aprisionada uma pequena porção de ar entre a superfície livre do líquido do vaso e as

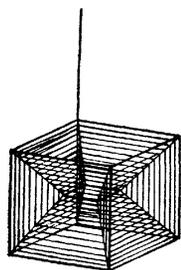


Fig. 22

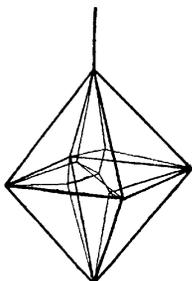


Fig. 23

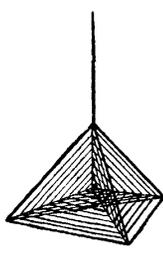


Fig. 24

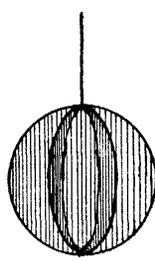


Fig. 25



Fig. 26

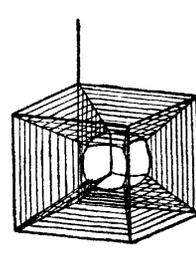


Fig. 27

paredes do tronco de pirâmide inferior constituída pelas películas de sabão que estavam anteriormente em equilíbrio. Retirando então a armação do líquido obtém-se uma nova forma de equilíbrio caracterizada pela presença de um pequeno cubo, no centro da armação, cujo interior é ocupado pela porção de ar que ficou aprisionado (fig. 27).

16.^a Experiência — *Material*: a solução de oleato; armação rectangular de arame (10 × 13 cm) com a peça adicional que a figura 30 representa; haste de madeira com gancho metálico (fig. 32); prato de papel com suspensão de linhas e anilha metálica (fig. 33); caixa de massas de balança de precisão.

Destina-se esta experiência à medida da tensão superficial da solução de oleato.

Quando se efectua, por exemplo, a experiência indicada com o n.º 11 e se alivia a força com que seguramos na linha (fig. 10), reconhece-se imediatamente a possibilidade de determinar o valor dessa força suspendendo na linha massas marcadas cujo peso a equilibre. A medida é bastante delicada mas possível.

A primeira informação relativa a este pormenor encontrámo-la num estudo de Athanase Dupré (1808-1863) sobre a Teoria Mecânica do Calor (27). Ao referir-se ao trabalho executado pelas forças moleculares diz Dupré que é fácil mostrar a existência dessas forças quando se trata de lâminas líquidas. Recorre para isso a duas peças de metal, *a* e *b* (fig. 28), das quais a mais pequena *b*,

pode deslizar sobre a maior. Molha ambas as peças numa solução de sabão, coloca a menor sobre a maior, e faz deslizar aquela sobre esta de modo a formar uma lâmina de líquido no intervalo aberto entre as duas peças conforma a figura mostra. Colocando então as peças verticalmente e puxando a mais pequena para baixo por meio de um fio, a película de sabão é forçada a esten-

(27) *Annales de Chimie et de Physique* — 4^{ème} série, T. VII, 1866, págs. 236 a 238 — *Cinquième mémoire sur la Théorie Mécanique de la Chaleur*, par M. Athanase Dupré (partie expérimentale en commun avec M. Paul Dupré). O físico Dupré é muitas vezes mencionado a propósito de uma experiência conhecida por «experiência de Dupré», também sobre tensão superficial, uma das muitas que se citam nos livros mas cuja realização é de êxito bastante problemático. Essa experiência vem descrita nos mesmos *Annales*, T. IX, 4^{ème} série, 1866, págs. 373-374.

der-se. Largando o fio a lâmina menor sobe repentinamente em virtude da contracção do líquido.

Dupré não se refere a qualquer tentativa experimental da medida do valor da tensão superficial da solução por este processo. Só lhe interessou o aspecto qualitativo do fenómeno.

Pouco tempo depois Van der Mensbrugghe, no trabalho que já citámos, retoma a experiência de Dupré e melhora o material substituindo a peça metálica a (da fig. 28) por um rectângulo de arame conforme ficou conhecido para o futuro. Esquemáticamente o dispositivo imaginado pelo fisico belga tomou o aspecto desenhado na fig. 29, em que h representa uma haste leve, e assim passou a representar-se nos Compêndios de Física. É, entretanto, curioso notar que Van der Mensbrugghe não mediu (que saibamos) a tensão superficial das soluções de sabão por este processo, isto é, procurando avaliar a intensidade da força que seria necessário exercer, de cima para baixo, sobre uma haste h (fig. 29) para equilibrar a força total exercida, em sentido oposto, pela lâmina líquida. É natural que o fisico belga, seguindo o caminho traçado por Dupré, e simplificando o material empregado, tivesse tentado medir a tensão superficial do modo que esquematizámos, e que nisso encontrasse dificuldades que não conseguisse remediar. O que é certo é que Van der Mensbrugghe mediu a tensão das soluções recorrendo a um outro artifício, aliás muito engenhoso, e que, exactamente pelo que tem de engenhoso e de rebuscado, denota que o seu autor se viu obrigado a imaginar um caminho diferente para atingir o fim que desejava. Adiante indicaremos esse processo ⁽²⁸⁾.

⁽²⁸⁾ É claro que, quando dizemos que Van der Mensbrugghe não mediu a tensão superficial pelo processo esquematizado na fig. 29, fazêmo-lo com as necessárias reservas. Lemos os trabalhos do fisico belga e neles não encontrámos nenhuma referência

Na verdade o esquema que vem nos livros como correspondendo a um dispositivo apropriado para a medida da tensão superficial por intermédio de lâminas líquidas, não dá resultado na prática. É um esquema teórico, como aliás muitos outros, de aparência simples mas de realização impossível. Segundo ele, mergulha-se o rectângulo metálico na solução de sabão e retira-se em seguida trazendo presa a lâmina líquida. Coloca-se sobre esta uma haste fina (h , fig. 29), que fica aderente e que divide a lâmina em duas zonas, 1 e 2. Pica-se a lâmina na zona 2, o que a faz romper e desaparecer, ficando (teóricamente) apenas a zona 1, superior. Suspende-se um pequeno prato de papel no meio da haste e sobre ele colocam-se massas marcadas até se equilibrar a força de contracção da lâmina, o que fará conhecer o valor da tensão superficial.

A experiência, tentada nestas condições, não dá resultado porque, quando se pica a zona 2, a rápida contracção da lâmina da zona 1 faz saltar a haste (h) para fora do rectângulo de arame e para longe. É claro que o remédio será impedir que a haste salte retendo-a de qualquer modo, remédio fácil quando se trata de desenhar um esquema ou de fazer uma exposição teórica mas cheio de dificuldades quando se pretende realizar. A excessiva delicadeza das lâminas de sabão é o inimigo permanente do êxito destas experiências.

Por teimosia efectuámos continuadas tentativas durante muitos meses até conseguirmos um dispositivo que tornasse fácil a medida que pretendíamos. A última forma dessas tentativas é a que está representada nas figuras 30 e 31.

Adiciona-se ao rectângulo (de dimensões 10×13 cm) uma peça de arame dobrado com a forma e as medidas que a figura 30

a qualquer medida efectuada desse modo. Pode-nos, porém, ter escapado qualquer «memória» do mesmo autor em que isso, porventura, tivesse sido tratado.

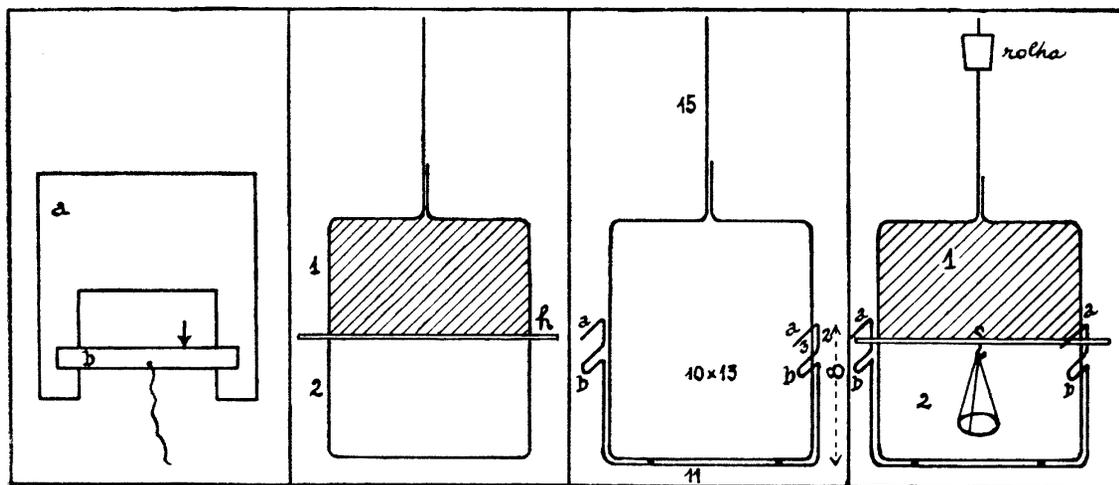


Fig. 28

Fig. 29

Fig. 30

Fig. 31

indica. Esta peça é soldada ao lado inferior do rectângulo.

A haste (fig. 32) é de madeira, muito fina e bem calibrada. Experimentámos vários materiais, sem êxito, e, entre eles, diversas madeiras das quais preferimos o choupo. Sobre uma superfície de choupo muito bem aplainada, cortámos, com auxílio de uma régua e de um canivete bem afiado, uma tira de madeira de forma prismática, de secção quadrada, com cerca de 1 mm de lado e de 16 cm de comprimento⁽²⁹⁾. Com uma agulha de coser, muito fina, atravessamos a haste de madeira no seu centro de gravidade e por aí introduzimos um finíssimo arame cujas extremidades dobrámos em gancho⁽³⁰⁾.

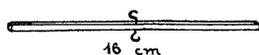


Fig. 32

Por outro lado prepara-se uma rodela de papel (papel almaço, de desenho, por exemplo), de 3 cm de diâmetro (fig. 33) suspensa de três linhas finas (seda de bordar) que a retêm assente em três nós, um em cada linha. Reunem-se os três fios num só nó superior e aí se prende um arame fino que se dobra em anilha de modo a poder suspender-se, sem qualquer embaraço, num dos ganchos da haste de madeira. A altura total do prato suspenso convém ser de 4 cm.

Na pega do rectângulo de arame enfia-se uma rolha, que fique bem justa (fig. 31).

Na execução desta experiência a actuação do experimentador tem de ser rápida, calculando e ensaiando previamente todos os gestos que irá fazer, para que a lâmina de sabão não desapareça no decurso da experiência. Junto do vaso da solução deve-se colocar um suporte de ferro, dos que se usam nos laboratórios de Química, com uma das suas pinças próprias colocadas no alto e já

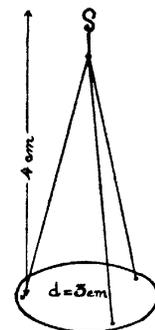


Fig. 33

⁽²⁹⁾ A madeira tem o inconveniente de absorver o líquido. Convém, portanto, determinar a massa da haste só depois de ter sido mergulhada demoradamente na solução e secado exteriormente. Marcel Boll (*La Mécanique du visible et de l'invisible*, pág. 202) aconselha o emprego de um fio de vidro, conselho que talvez se fundamente na consideração de que o vidro não absorve o líquido. Assim é mas o seu emprego não nos deu bom resultado.

⁽³⁰⁾ Estes ganchos destinam-se à suspensão do prato de que falamos a seguir e convém que sejam dois porque, ao colocarmos a haste sobre a lâmina

de sabão, poderia suceder que o gancho, se fosse um só, ficasse acidentalmente voltado para cima.

com as hastes dessa pinça afastadas o suficiente para que nelas enfie, sem demora, quando for preciso, a rolha que se instalou na pega do rectângulo de arame (fig. 31). Não convém apertar a pinça depois de montar o rectângulo pois isso poderia prejudicar-lhe a verticalidade que deve ter. O que é necessário é ensaiar primeiro a colocação da rolha entre as hastes da pinça de modo que o rectângulo fique vertical.

Procede-se então como se segue. Introduce-se a armação (a da fig. 30, previamente humedecida com o próprio líquido) na solução e retira-se lentamente. Pega-se nela com a mão esquerda colocando-a em posição horizontal. Com a mão direita coloca-se a haste de madeira, bem molhada no líquido, sobre a lâmina de sabão, no intervalo a, b (fig. 30). Coloca-se então a armação em posição vertical enfiando a rolha (fig. 31) na pinça do suporte, como já foi dito. A haste de madeira descai e descansa sobre b, b . Rompe-se a lâmina na zona inferior à haste, picando-a. A haste sobe devido à contracção da parte da lâmina que ficou superiormente, e encosta-se aos amparos a, a .

Transporta-se então o prato de papel (pegando na anilha da suspensão com uma pinça da caixa de massas) e pendura-se no gancho da haste de madeira, a qual deverá, mesmo assim, continuar encostada aos amparos a, a por ser muito fraco o peso total da haste e prato. Colocam-se agora, cuidadosamente, massas marcadas no prato de papel (começamos por uma de 100 miligramas, que será a maior) de modo a conseguir que a haste desça e fique em equilíbrio entre os amparos a, a e b, b , sem tocar em qualquer deles e em posição horizontal.

Com todas estas cautelas, com uma boa solução de oleato e operando com rapidez para que a membrana, entretanto, não se rompa, o resultado é excelente. No aspecto didático constitui uma bela lição que os alunos observam com entusiasmo e lhes faz sentir a delicadeza das medidas físicas. O resultado numérico obtido, por se referir

a um valor tão fraco que nele figura o dine como a unidade de força mais conveniente, é uma boa, e talvez única, ocasião para que os alunos tomem conhecimento directo, experimental, com essa unidade.

Os dados numéricos das experiências que efectuámos foram os seguintes:

Peso da haste de madeira e respectivos ganchos (fig. 32) 0,297 g
 Peso do prato, fios de suspensão e anilha metálica (fig. 33) 0,067 g
 Média dos pesos colocados no prato em várias experiências efectuadas, todos, aliás, muito próximos da média. 0,160 g
 Peso total: 0,297 g + 0,067 g + 0,160 g = 0,524 g.

Esta força total, dirigida de cima para baixo, era equilibrada pelas forças de tensão exercidas pelo líquido de baixo para cima, em toda a extensão da haste em contacto com a solução. No caso das nossas experiências esta extensão da haste media 9,60 cm. Como, segundo Rayleigh (Nota 19), a lâmina líquida é formada por duas faces que produzem efeitos independentes, o comprimento total da haste em contacto com a lâmina era de $2 \times 9,60 \text{ cm} = 19,20 \text{ cm}$. A tensão superficial do líquido, que se avalia pela intensidade da força exercida sobre cada unidade de comprimento traçada sobre a superfície do mesmo (§ 4), corresponderá, no presente caso, à força de 0,524 g exercida sobre o comprimento total de 19,20 cm, ou seja:

$$\frac{0,524 \text{ g}}{19,20 \text{ cm}} = 0,0273 \text{ g/cm}$$

que equivale a:

$$0,0273 \times 980 = 26,8 \text{ dines/cm}$$

Este é o valor da tensão superficial da solução de oleato, em contacto com o ar e à temperatura da experiência:

$$T = 26,8 \text{ dines/cm.}$$

13. O processo imaginado por Van der Mensbrugge para a medida da tensão superficial das soluções de sabão não foi o que acabámos de expôr, como já acentuámos, mas o que a seguir indicaremos. É interessante notar que nunca vimos exposto em qualquer compêndio o processo realmente empregado pelo hábil fisico belga que, aliás, é de execução menos fácil e de êxito menos seguro do que o anterior, efectuado conforme imaginámos.

Adaptando esta experiência de Van der Mensbrugge às condições do trabalho anteriormente descrito servimo-nos de um rectângulo de arame (10 × 13 cm) do qual suspendemos uma linha fina (fig. 34). O ponto de suspensão da linha deve ficar no lado inferior do rectângulo, perto (1 cm, por exemplo) do vértice do lado esquerdo do experimentador.

Van der Mensbrugge suspendeu uma bola de cera no extremo livre do fio (fig. 34). Nós colocámos aí uma anilha para nela suspendermos o prato de papel a que nos referimos (fig. 33).

17.^a Experiência — *Material:* a solução de oleato; armação rectangular de arame (10 × 13 cm) com uma linha suspensa de cerca de 30 cm de comprimento (fig. 34); gancho de arame fino na extremidade livre da linha (que a figura não representa); prato de papel (fig. 33); caixa de massas de balança de precisão.

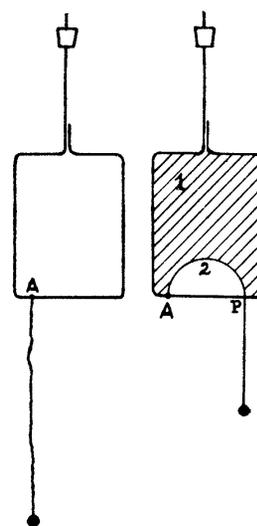
Introduz-se o rectângulo na solução (prêviamente humedecido com a mesma) e, juntamente, como tem de ser, a porção de linha que for indispensável. Retira-se do líquido, segura-se na armação com a mão esquerda colocando o rectângulo horizontalmente, e, segurando na linha que está suspensa; com a mão direita, colocámo-la em arco sobre a lâmina líquida, mais ou menos com a forma com que ficará definitivamente e que a fig. 35 representa. Aperta-se a linha contra o arame, no ponto *P*, entre o polegar e o indicador da mão direita, e

pendura-se a armação pela rolha no suporte de ferro como anteriormente dissemos, de modo que fique vertical. Sem retirar os dedos do ponto *P* rompe-se a região 2 da lâmina líquida. Imediatamente a parte *AP* da linha toma a forma de uma semicircunferência. Alivia-se então um pouco a pressão dos dedos no ponto *P*, o que faz espontaneamente subir ou descer a linha (e, portanto, desviar a posição de *P* para a direita ou para a esquerda) até se estabelecer o equilíbrio entre as forças de tensão do líquido na região 1 e do peso da linha e da bola de cera suspensa. Empregando, como fizemos, o prato de papel, é nesta ocasião, enquanto se alivia a pressão dos dedos em *P*, que se vão colocando as massas marcadas no prato até se conseguir o equilíbrio.

Para calcular o valor da tensão superficial, Van der Mensbrugge esperava que se desse o citado equilíbrio, cortava, com uma tesoura, a parte da linha suspensa, mesmo rente ao ponto *P*, e pesava essa porção de linha com a bola de cera presa a ela. Usando o prato de papel teremos de tomar nota do comprimento da parte da linha suspensa desde *P* (usando uma craveira com as pontas molhadas na solução), no momento do equilíbrio, e tomar nota do comprimento *AP* que é o diâmetro da semicircunferência, no mesmo momento do equilíbrio. Servimo-nos de uma linha da qual já tínhamos determinado o peso por unidade de comprimento.

Obtivemos os seguintes resultados:

Peso da linha empregada por metro de comprimento 0,035 g



Figs. 34 e 35

Comprimento da parte da linha suspensa (dos quais 1 cm utilizado na fixação do gancho metálico) 16 cm

Peso da linha suspensa:

$$\frac{16 \text{ cm} \times 0,035 \text{ g}}{100 \text{ cm}} = 0,0056 \text{ g}$$

Peso do gancho suspenso da linha 0,010 g

Peso do prato, fios de suspensão e anilha metálica. 0,067 g

Média dos pesos colocados no prato em várias experiências efectuadas 0,130 g

Peso total: 0,0056 g + 0,010 g + 0,067 g + 0,130 g = 0,2126 g.

Diâmetro \overline{AB} da semicircunferência formada pela linha (fig. 35) 7,8 cm

O peso total F (fig. 36) exercido à distância $AP = 7,8 \text{ cm}$ do ponto fixo A , foi equilibrado pela força F' da contracção do líquido exercida à distância $AP/2$ do ponto A . A intensidade da força F' é, portanto, igual a $2 \times 0,2126 \text{ g} = 0,4252 \text{ g}$. A tensão superficial do líquido será dada por:

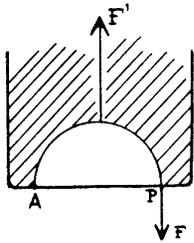


Fig. 36

$$T = \frac{0,4252 \text{ g}}{2 \times 7,8 \text{ cm}} = 0,0273 \text{ g/cm}$$

que equivale a 26,8 dines/cm, valor exactamente igual ao que obtiveramos anteriormente.

*

TABELA dos valores da **Tensão Superficial** de alguns líquidos, expressos em dines/cm (extraídas das *Tables of Physical and Chemical Constants*, by G. W. C. Kaye, tenth edition, 1948)

LÍQUIDO	Temperatura em °C	Substância em contacto com o líquido	Tensão superficial em dines/cm
Água	15	ar	72,8 a 77,6
Água	15	o seu vapor	71,4
Acetona	16,8	o seu vapor	23,3
Ácido acético	20	o seu vapor	23,5
Álcool etílico	20	o seu vapor	22
Azeite	20	ar	32
Benzeno	17,5	ar	29,2
Clorofórmio	15	ar	27,2
Essência de terebintina	15	ar	27,3
Éter	20	o seu vapor	16,5
Mercúrio	20	azoto	465
Sulfureto de carbono	19,4	o seu vapor	33,6

RÓMULO DE CARVALHO

Professor no Liceu D. João III, em Coimbra

A «GAZETA DE FÍSICA» luta pelos interesses dos cientistas portugueses

A indústria nacional necessita de físicos e de químicos portugueses