

GAZETA DE FÍSICA

Fundador: ARMANDO GIBERT

Vol. III, Fasc. 5

Junho de 1957

Irene Curie

(1897-1956)

Embora tardiamente não quer deixar a Gazeta de Física de arquivar nas suas páginas, em lugar de relevo, a notícia da morte de Irene Curie, cujo nome, junto aos de seus pais e de seu marido, é um dos mais gloriosos que a história do nosso tempo regista. Irene Curie, cuja morte se deu em 17 de Março do ano findo, deixa uma obra saudosa e imorredoura nos anais da Física Nuclear. Em sua homenagem transcrevemos algumas das palavras proferidas por Louis de Broglie por ocasião das comemorações do XX aniversário da descoberta da radioactividade artificial, em Outubro de 1954.

Pareceu, durante muito tempo, que uma das características essenciais das transmutações radioactivas que permitem passar de um elemento para outro, era a de se furta-rem, completamente, a todos os nossos meios de actuação, de tal modo que qualquer de nós, em presença desses fenómenos, estaria condenado a figurar como simples espectador, sem possibilidade de influir na evolução do fenómeno. Nenhum dos meios a que poderíamos recorrer, elevações de temperatura ou aumentos de pressão, criação de campos eléctricos ou magnéticos, mostrava exercer influência no decorrer do processo da radioactividade natural. Com muito mais forte razão parecia inconcebível que se pudesse chegar a provocar a ruptura de um núcleo à semelhança do que sucede, espontâneamente, nos elementos radioactivos pesados. É por isto que se considera como um dos mais altos momentos da História da Ciência aquele, em

1910, em que Lord Rutherford conseguiu provocar a transformação de um núcleo atómico realizando assim, pela primeira vez, o sonho dos alquimistas medievais. Ao emitir, numa atmosfera de azoto, raios alfa provenientes de um corpo radioactivo natural, o polónio, Rutherford verificou que, em virtude dos choques sofridos, os núcleos de azoto absorviam o raio incidente deixando escapar um núcleo de hidrogénio, um protão, ao mesmo tempo que se libertava grande quantidade de energia cinética.

Foi esta experiência capital, logo confirmada e ampliada por outras investigações, que abriu caminho inteiramente novo à Física nuclear. Ficou-se assim sabendo que era possível provocar a transformação do núcleo de um átomo e obter um outro núcleo de um átomo de outro tipo por meio de bombardeamentos corpusculares apropriados, até mesmo para o caso de elementos leves, dos que figuram nos primeiros

lugares da classificação de Mendeleieff. Foi por esta mesma época, graças aos trabalhos de J. J. Thomson e de Aston, que os físicos adquiriram a noção de elementos isótopos. Reconheceu-se que, embora todos os átomos do mesmo elemento químico tenham núcleos com a mesma carga eléctrica, e portanto, com o mesmo número atómico, podem existir, nesse mesmo elemento, vários tipos diferentes de núcleos, os quais, apesar da igualdade das suas cargas eléctricas, se distinguem pelos diferentes valores das suas massas. Estes vários núcleos correspondentes a um mesmo elemento químico, isto é, à mesma casa na classificação de Mendeleieff, chamam-se núcleos isótopos. As transmutações artificiais do tipo da de Rutherford fazem aparecer, muitas vezes, núcleos isótopos que são raros na Natureza. O processo de transmutação por bombardeamento corpuscular surgiu, assim, logo de início, como susceptível de alargar consideravelmente os horizontes da Física Nuclear.

Foi necessário, entretanto, que decorressem muitos anos até se conseguir obter, por este processo, tudo quanto, de princípio, nos prometia, pois foi só a partir de 1930 que os seus êxitos começaram a tomar vulto. Em primeiro lugar foi necessário aperfeiçoar aquilo que se chama, por imagem, a artilharia atómica, isto é, inventar dispositivos engenhosos que permitissem comunicar velocidades elevadíssimas às partículas utilizadas nos bombardeamentos dos núcleos e empregar, como projecteis, toda a espécie de partículas já anteriormente conhecidas, como o protão, ou posteriormente descobertas, como o deutão. Entre os novos projecteis que os progressos da Física Nuclear puseram ao nosso alcance devemos citar o neutrão. A sua descoberta, à qual Joliot e sua mulher deram uma contribuição decisiva, data de 1932. Esta partícula, por ser electricamente neutra, pode facilmente penetrar nos núcleos, cujo campo electrostático não os protege contra a sua penetração, e provocar facilmente transmutações.

Auxiliados por todos estes meios de que agora dispunham, efectuaram os físicos, entre 1930 e 1934, um número considerável de novas transmutações, dando origem a diferentes tipos de núcleos com emissão de partículas e de radiações. Todas as transmutações conseguidas puderam ser classificadas em diferentes categorias, e a aplicação do princípio da inércia da energia, consequência preciosa da teoria da Relatividade, permitiu estabelecer os cálculos da energia correspondente a cada transmutação. Assim ficou constituída uma verdadeira Química Nuclear com as suas fórmulas de reacção e a sua Termoquímica.

Entre os núcleos «fabricados» deste modo só se obtiveram, de princípio, núcleos estáveis semelhantes aos dos átomos radioactivos. Era possível, e fácil, entretanto, a previsão de que as transmutações por bombardeamentos pudessem fornecer núcleos radioactivos. De facto, a desorganização violenta provocada pelo bombardeamento corpuscular na estrutura do núcleo bombardeado, poderá terminar, muitas vezes, por deixar o novo núcleo, resultante do desconjuntamento do núcleo inicial, num estado precário e instável dando lugar ao fenómeno da Radioactividade espontânea. Parece ter escapado aos físicos esta maneira de encarar a questão pois o mundo científico ficou assombrado quando teve conhecimento, em Janeiro de 1934, que Joliot e sua mulher acabavam de obter núcleos radioactivos por meio de transmutações, descoberta memorável que fez merecer, aos seus autores, pouco tempo depois, a atribuição do Prémio Nobel.

Foi nesta mesma ocasião que os físicos descobriram, nos raios cósmicos, a presença de uma nova partícula, aliás instável, e que não existe normalmente na natureza: o electrão positivo, ou positão, que é, electricamente, o antípoda do vulgar electrão negativo. Nunca se tinha observado a emissão de electrões positivos em qualquer dos fenómenos de radioactividade natural conhecidos desde há muito e que provocam frequente-

mente a emissão de electrões negativos dos núcleos em desintegração. O estudo das transmutações artificiais por meio de bombardeamentos veio entretanto mostrar que, em alguma delas, se observava a emissão de electrões positivos, então considerados como simples «positões de transmutação», o que realmente, muitas vezes, sucede. Foi no decorrer de certas experiências destinadas a calcular o valor da energia mínima dos raios susceptíveis de provocarem a transmutação do alumínio com aparecimento de positões, que Joliot e sua mulher verificaram que a emissão dos positões não é instantânea, mas que se inicia após um certo período de irradiação e que subsiste ainda durante algum tempo depois de terminada essa mesma irradiação. Foi isso que levou Joliot e sua mulher a concluir que o bombardeamento dos núcleos de alumínio por núcleos de hélio (raios alfa) dá origem a um núcleo de fósforo, instável e radioactivo, que se destrói de metade em 2 minutos e 15 segundos com emissão de positões.

Estas experiências magníficas, efectuadas com notável habilidade, permitiram a Joliot e a sua mulher anunciar em 15 de Janeiro de 1934, numa nota dirigida aos *Comptes rendus* da Academia das Ciências, que «pela primeira vez fora possível crear radioactividade em núcleos atómicos».

Estes novos núcleos radioactivos, que se representam, na nomenclatura nuclear, afectando de um asterisco o símbolo do elemento (P* no caso do fósforo radioactivo), designam-se muitas vezes, e por esse motivo, como núcleos ou elementos «marcados». Em pouco tempo, e por meio de transmutações apropriadas, se conseguiram obter muitos outros destes núcleos. Conhecem-se actualmente mais de 300 tipos diferentes que correspondem a durações de vida e a emissões radioactivas muito variadas. Já se obtiveram, para cada elemento da classificação de Mendeleieff, muitos núcleos isótopos radioactivos, o que, só por si, é suficiente para avaliar o enorme alcance da descoberta de Joliot e de Irene Curie.

Sobre as possibilidades de utilização de uma central de energia a carvão

O ilustre Professor O. R. Frisch, bem conhecido de todos os físicos, dá-nos no trabalho de que publicamos a seguir uma tradução livre, uma expressão levemente irónica, de uma crítica profunda e bem justificada, dirigida contra o carácter exagerado e especialmente discricionário de que se reveste a propaganda contra os riscos das actividades nucleónicas e contra a popularização de máquinas atómicas.

Na verdade, outras actividades humanas envolvem grandes riscos nos quais não se fala ou que não se admite possam limitar aquelas actividades.

O Prof. Frisch mostra-nos, com um humorismo delicioso, o que poderia suceder se o complexo «atómico» do medo e da dificuldade existisse em grau semelhante para um produto considerado geralmente tão inofensivo e acessível como o carvão, imaginando o que se passaria num «mundo atómico», desconhecendo o carvão, quando este fosse descoberto.

A recente descoberta de carvão (resíduos negros de uma planta fossilizada) em certo número de locais oferece uma alternativa interessante à produção de energia a partir da cisão. Alguns dos locais onde se encontrou carvão mostram de facto sinais

de uma antiga exploração por homens pré-históricos, que provavelmente o utilizaram para jóias, e para enegrecer a cara em certos rituais de tribus.

O seu potencial energético depende do facto que o carvão pode ser facilmente oxi-

dado, dando lugar à produção de uma alta temperatura e libertando uma energia de cerca de 0,0000001 megawatts-dia por grama. Evidentemente que isto é muito pouco, mas parece que existem grandes quantidades de carvão (talvez milhões de toneladas).

A principal vantagem reside em que o ponto crítico é muito mais baixo para o carvão do que para qualquer material cinzível. As instalações de cisão, como é bem sabido, tornam-se anti-económicas abaixo de 50 megawatts, e uma central a carvão pode produzir energia a preços da concorrência para comunidades isoladas com pequenas necessidades, ou talvez para unidades móveis.

Construção de um reactor a carvão

O principal problema está em conseguir acesso livre, ainda que controlável, do oxigénio aos elementos combustíveis. A cinética da reacção carvão oxigénio é muito mais complicada do que a cinética da cisão e ainda não foi completamente compreendida. A equação diferencial que aproxima o comportamento da reacção já foi estabelecida, mas a sua resolução só é possível nos casos mais simples.

Propomos por conseguinte a construção do vaso de reacção com uma forma cilíndrica, com paredes perfuradas para que os gases da combustão possam escapar-se. Um cilindro interior concêntrico, também perfurado, serve para introduzir o oxigénio, enquanto que os elementos combustíveis são colocados entre os dois cilindros. A indispensável presença de placas terminais põe um problema matemático difícil, mas não insolúvel.

Elementos combustíveis

Julgamos que estes sejam de mais fácil fabrico do que no caso dos reactores de cisão. A sua colocação dentro de envólucros é desnecessária, e mesmo indesejável, pois tornaria impossível o acesso do oxigé-

nio ao combustível. Calculámos diversas estruturas, e parece que a mais simples de todas — um aglomerado de esferas iguais — deve ser satisfatória. Estamos elaborando cálculos para determinar o tamanho óptimo das esferas e as necessárias tolerâncias. O carvão é macio e fácil de trabalhar; assim o fabrico das esferas não deve apresentar nenhum grande problema.

Oxidante

O oxigénio puro é, evidentemente, ideal mas o seu custo torna-se elevado; propôs-se assim a utilização, em primeiro lugar, de ar. No entanto, devemos recordar que o ar contém 78 % de azoto. Se uma fracção, ainda que mínima, de azoto se combinasse com o carbono do carvão formando o gás cianídrico, altamente tóxico, isto constituiria um grave perigo para a saúde.

Para dar início à reacção é necessário uma temperatura relativamente alta de 988° F; isto consegue-se bastante bem fazendo passar uma corrente eléctrica entre os cilindros interior e exterior (desde que as placas terminais sejam fabricadas em cerâmica isoladora). Necessita-se de uma corrente de vários milhares de amperes, a cerca de 30 V, e a indispensável bateria, de grande capacidade, vai aumentar substancialmente o custo da instalação.

Há a possibilidade de dar início à reacção por meio de qualquer reacção catalítica, como por exemplo a da fosfina com peróxido de hidrogénio. Este ponto está a ser investigado.

Logo que se dá início à reacção; a sua velocidade pode ser controlada desde que se ajuste a velocidade à qual é admitido o oxigénio; isto é quase tão simples como o uso de barras de controle num reactor convencional de cisão.

Corrosão

As paredes do reactor devem suportar uma temperatura de bem mais de 1.000° F, na presença de oxigénio, azoto, monóxido

e dióxido de carbono, assim como pequenas quantidades de anidrido sulfuroso e outras impurezas, algumas ainda desconhecidas. Poucos metais ou produtos cerâmicos podem resistir a tão duras condições. O nióbio, com um revestimento pouco espesso de níquel pode ser uma possibilidade interessante, mas provavelmente ter-se-á de utilizar unicamente níquel. Quanto aos produtos cerâmicos, pensamos que a tória fundida parece ser o mais apropriado.

Unidades móveis

Uma vantagem importante consiste na ausência de radiações penetrantes; em consequência a blindagem biológica pode ser muito pouco espessa, pois quase só tem que absorver infra-vermelhos. Nem tão pouco parece que o fluido de permuta de calor se deva tornar radioactivo. De facto, pode-se dispensá-lo completamente e colocar o reactor em justaposição directa com o produtor de vapor; isto é, debaixo dele. Desta forma todo o equipamento se torna tão leve, que se pode admitir a possibilidade de construir pequenas unidades móveis. O bem conhecido inventor, Trebor Nosnevets, chegou mesmo a sugerir a utilização da energia produzida por meio de carvão para fazer funcionar um novo sistema de transporte, que segundo ele pensa poderia resolver a actual congestão de helicópteros nas pequenas cidades de menos de 50 000.000 de habitantes. Ele propõe longas cadeias de fuselagens sem asas, assentes em rodas (que correm sobre carris de aço para diminuir a fricção e o ruído) e rebocadas por um único tractor accionado pela energia do carvão. Tènicamente o projecto parece viável mas subsistem dúvidas sob o ponto de vista económico. Ter-se-ia de abrir faixas com uma largura de cerca de 90 metros, livres de quaisquer construções, ladeadas de ambos os lados por paredes, que fariam a protecção no

caso de uma reacção explosiva durante o trajecto.

Os carris de aço teriam de ser assentes com tolerâncias muito pequenas, e mesmo assim dever-se-ão dar vibrações que tornarão as viagens por aquele sistema pouco populares. Por outro lado, a grande publicidade indispensável para persuadir as pessoas a experimentar este meio de transporte daria lugar a uma grande procura do nosso reduzido número de artistas publicitários e de psicologistas sociais.

Perigos para a saúde

O principal perigo para a saúde relaciona-se com os produtos gasosos libertos. Estes não só contêm o monóxido de carbono e anidrido sulfuroso (ambos altamente tóxicos) mas também um certo número de compostos carcinogénicos, tais como fenantreno e outros. É impossível descarregar aqueles produtos na atmosfera, pois assim o nível de tolerância seria excedido numa área de algumas milhas à volta do reactor.

É pois necessário reunir os resíduos gasosos em recipientes apropriados, enquanto aguardam a desintoxicação química. Em alternativa, o resíduo tóxico pode ser misturado com hidrogénio, enchendo-se grandes balões, que seriam em seguida largados.

Os resíduos sólidos teriam de ser removidos frequentemente (talvez mesmo diariamente). Os perigos para a saúde resultantes desta operação podem ser facilmente diminuídos usando-se equipamento convencional de comando a distância. O resíduo poderia então ser afundado no mar.

Existe a possibilidade — ainda que pareça remota — de que se perca o controle do fornecimento de oxigénio; isto poderá dar lugar à fusão de todo o reactor e à libertação de grandes quantidades de gases tóxicos. Este é um grave argumento con-

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. Goettigenensis*. (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 raciocínio anterior 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, conseguíamos 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-

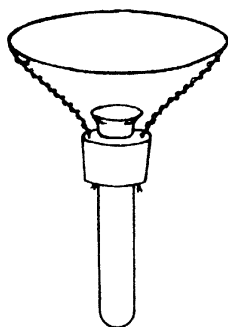


Fig. 1

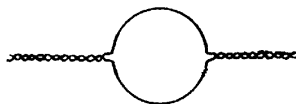


Fig. 2

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.