

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. O vácuo e a pressão atmosférica, da antigüidade a Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 1 (3): 9-48, 1989.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-33.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. O vácuo e a pressão atmosférica, da antigüidade a Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 1 (3): 9-48, 1989.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-33.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

O VÁCUO E A PRESSÃO ATMOSFÉRICA, DA ANTIGÜIDADE A PASCAL

ROBERTO DE ANDRADE MARTINS

1 O PROBLEMA DO VÁCUO

É possível a existência de espaços vazios, na natureza? Eles existem? Podem ser produzidos pelo homem? Ou será todo o universo repleto por uma matéria contínua, que preenche todos os espaços e que não pode ser retirada de nenhum lugar?

Essas são questões muito antigas. Para nós, educados dentro do ponto de vista da ciência moderna, as respostas podem parecer claras: existem espaços vazios entre os átomos e dentro deles; é possível produzir-se, artificialmente, grandes espaços vazios (ou quase vazios); os espaços interestelares são praticamente vazios. Todos conhecem o barômetro e sabem que a sua parte superior é um vácuo. Essas são as nossas crenças. Mas são nossos *conhecimentos*? Ou nossas *superstições*?

Quem ouviu falar e aceita como verdade que o topo de um barômetro é um vácuo pode conhecer ou não como se chegou a essa concepção. Quem só conhece o *resultado*, a *conclusão* aceita pela ciência moderna, sem conhecer o *processo*, os *motivos* que levaram a essa conclusão, baseia-se apenas na autoridade dos livros-texto e dos professores. Não tem um conhecimento genuíno da fundamentação desse conhecimento.

É o estudo histórico que pode mostrar o real significado e a base de nossas crenças científicas. Como e por que se aceitou certa idéia? Existiam alternativas? Como e por que essas alternativas foram abandonadas? Quando investigamos o passado, podemos tentar responder a essas questões. As respostas não são simples, nem fáceis de encontrar. É preciso pesquisar os textos, procurar se inteirar de como se pensava em cada época, deixar de lado, temporariamente, nossas certezas, penetrando na real efervescência histórica.

Essa história nos ensinará mais sobre o vácuo e a pressão atmosférica, mais sobre a história do pensamento humano, mais sobre o caminho seguido pelos pesquisadores, sobre suas tentativas, hesitações, falhas e sucessos. E, espero, ensinará que nada é tão claro e simples quanto pensávamos antes e que nada do que aceitamos foi jamais provado.

É preciso abandonar nossa arrogância usual de que nós, os modernos, chegamos à verdade, para que se torne possível captar o outro lado da história. Só assim será possível ver que aqueles que negavam o vácuo não eram tolos ou loucos.

Mas vamos à história.

2 OS PRÉ-SOCRÁTICOS E O VÁCUO

Como em quase todas as questões científicas é preciso retornar à antiguidade grega para localizar as raízes dos problemas modernos.

De acordo com os fragmentos existentes, os antigos atomistas foram os mais vigorosos defensores da existência do vácuo. A eles se contrapuseram Platão e Aristóteles que concebiam o Universo como algo totalmente preenchido por matéria.

A discussão sobre a existência do vácuo ou vazio (*Kénon*, em grego) pode ser encontrada em alguns pré-socráticos. Tanto nos eleatas, que afirmavam a unidade e negavam o movimento, quanto entre os atomistas, que aceitavam a multiplicidade e o movimento, a existência de espaços vazios é pensada como uma condição para o movimento. Um fragmento de Melissos (cerca de 443 A.C.) mostra essa idéia ao descrever o todo imóvel.

Nada dele é vazio. Pois aquilo que é vazio é nada. Ora, aquilo que nada é não poderia existir. E ele não se move. Pois não pode ceder em nenhum ponto, já que é cheio. Pois se existisse um vazio, ele cederia no vazio; mas como o vazio não é uma coisa que exista, ele não tem onde ceder. (Melissos, fragmento 7 Diels, tirado do comentário de Aristóteles, 112, 6.1 — *apud* KIRK, RAVEN & SCHOFIELD, *The presocratic philosophers*, p. 397)*.

Essa idéia dos eleatas é descrita e criticada por Aristóteles:

Alguns dos antigos filósofos pensavam que aquilo que existe deve necessariamente ser uno e imóvel. Eles argumentavam que o vazio não existe; mas, se não houvesse um vazio com uma existência própria distinta, aquilo que existe não poderia ser movido — nem poderia ser múltiplo, pois não existe nada para separar as coisas. . . eles assim sustentaram que é igualmente necessário negar a existência do movimento.

Raciocinando desta forma, portanto, foram levados a transcender a percepção sensorial e a desconsiderá-la baseando-se em que "deve-se seguir o argumento"; e assim afirmam que o universo é uno e imóvel. (ARISTÓTELES, *Sobre a geração e a corrupção*, livro I, cap. 8, 325a 3-13).

Aristóteles considera que essas idéias são próximas às dos lunáticos, por se oporem claramente aos fatos. E descreve em seguida a posição dos atomistas:

Leucipo, no entanto, pensou dispor de uma teoria que se harmonizava com a percepção sensorial e que não negaria o surgimento nem o desaparecimento ou o movimento e a multiplicidade das coisas. Ele admitia isso pelos fatos da percepção. Por outro lado, concordou com os Monistas que não poderia existir movimento sem um vazio. O resultado foi uma teoria que ele assim descreve: 'O vazio é um "não-ser" e nenhuma parte "daquilo que é" é um "não-ser"; aquilo que existe, no sentido estrito da palavra, é um *pleno* absoluto. No entanto, esse pleno não é um; pelo contrário, ele é muitos, infinitos em número e invisíveis pela pequenez de seu tamanho. Os muitos se movem no vazio (pois existe um vazio) e, unindo-

* Nota editorial: As referências bibliográficas completas dos trabalhos citados estão contidas na lista bibliográfica colocada no final deste volume.

se, produzem o surgimento, enquanto, ao separar-se, produzem o desaparecimento ... (ARISTÓTELES, *Sobre a geração e a corrupção*, livro I, cap. 8, 325a 23-32).

Da mesma forma, como esclarece Aristóteles, Empédocles aceitava a existência de poros nos corpos; e, mais tarde, Epicuro defenderá a teoria atomista:

Se não existisse aquilo que chamamos de vazio ou espaço ou natureza intangível, os corpos não teriam onde estar nem através do que se mover, como se vê que eles se movem. (EPICUROS, *La lettre d'Epicure*, 40 – p. 79).

e esse argumento é descrito também por Sextus Empiricus:

E falta de testemunho contrário é a congruência entre o objeto suposto, não-evidente, com o aparente — como quando Epicuro diz que o vazio existe, o que é uma coisa não-evidente; e isso se baseia em um fato óbvio, a saber: o movimento; pois se o vazio não existe, o movimento também não deveria existir, pois o móvel não teria um lugar para onde passar, se todas as coisas estivessem cheias e compactadas; assim, como o movimento existe, o aparente não dá um testemunho que contrarie o fato opinado não-evidente. (SEXTUS EMPIRICUS, *Contra os lógicos*, livro I, 213-4).

3 A CRÍTICA ARISTOTÉLICA AO VÁCUO

Em Platão, o problema do vácuo é pouco discutido. No *Timeu* (79-80), no entanto, encontra-se uma clara negação do vácuo. Lá apresenta-se a afirmação de que não pode existir um vácuo e que isso explica vários fenômenos: a respiração, o uso de ventosas, a sucção de líquidos ao beber. Em todos esses casos, Platão parece interpretar a aparente *atração* como um *empurrar* em direção a um local onde tenderia a surgir um espaço vazio.

A primeira discussão sistemática e profunda da questão, no entanto, parece dever-se a Aristóteles.

A análise de Aristóteles pode ser dividida em três partes:

- a) Ele examina o conceito de espaço e tenta estabelecer que a própria concepção de um espaço vazio é impossível;
- b) Examina os argumentos dos atomistas e procura mostrar que todos os fenômenos por eles utilizados para estabelecer a existência do vácuo são explicáveis sem a hipótese do vácuo;
- c) Apresenta novos argumentos nos quais tenta mostrar que certos aspectos do movimento se tornariam incompreensíveis ou levariam a absurdos se fosse admitida a existência do espaço vazio.

Ao discutir o conceito de espaço (*Física*, livro IV, 208a 28 – 213a 10), Aristóteles descreve o espaço ocupado por um corpo como a região delimitada pelos corpos que o envolvem. É o envoltório ou “recipiente” de um corpo que determina o seu volume. Em particular, o universo como um todo não tem volume e não ocupa um espaço, pois não existem corpos fora dele que possam cercá-lo e determinar seu espaço ou volume. Depois, Aristóteles passa à questão do vazio ou vácuo:

A investigação de questões sobre o vazio — a saber, se ele existe ou não, como existe e o que é — deve caber também ao físico, como as relativas ao lugar . . . Os que sustentam que o vazio existe consideram-no como um tipo de local ou recipiente que está *cheio* quando contém o recheio que é capaz de conter e *vazio* quando está privado dele . . . (ARISTÓTELES, *Física*, livro IV, cap. 6, 213a 11-17).

Aristóteles examina então as opiniões e argumentos daqueles que afirmavam a existência do vazio.

Eles argumentaram, por um lado, que a mudança espacial (isto é, locomoção e crescimento) não existiria [se o vazio não existisse]. Pois mantém-se que o movimento pareceria não existir se não houvesse vazio, pois aquilo que está cheio não pode conter nada mais. Se pudesse e se houvesse dois corpos no mesmo lugar, seria também verdade que qualquer número de corpos poderiam estar juntos; pois é impossível traçar uma linha divisória além da qual isso deixaria de ser verdade. Se isso fosse possível, também seguir-se-ia que o menor corpo poderia conter o maior; pois “muitos poucos fazem um monte”; assim, se muitos corpos iguais pudessem estar juntos [no mesmo lugar, coexistindo], também poderiam muitos corpos desiguais.

Melissos, realmente, infere dessas considerações que o Todo é imóvel; pois para que ele se movesse deveria existir o vazio, diz ele; mas o vazio não é uma das coisas que existem.

Esse argumento, portanto, é um caminho pelo qual mostram que existe um vazio (ARISTÓTELES, *Física*, livro IV, cap. 6, 213b 4-14).

Quanto a esses argumentos dos atomistas, Aristóteles afirma que, para existirem deslocamentos, não é preciso aceitar a existência de espaços vazios: pois os corpos podem trocar mutuamente de lugar, como parece ocorrer quando um peixe nada na água — o peixe passa a ocupar um local onde havia água, aquela água se desloca e o local onde o peixe estava é ocupado por água. Essa idéia já se encontra presente, também, no *Timeu* de Platão.

Mas o movimento de um local para outro não exige o vácuo. Pois os corpos podem ceder espaço um ao outro simultaneamente, mesmo não havendo um intervalo que os separe ou além dos corpos que estão em movimento. E isto torna-se claro na rotação de corpos contínuos e na dos líquidos. (ARISTÓTELES, *Física* 214a 28-31).

Outra classe de objeções é constituída pelos fenômenos de dilatação, contração e crescimento:

Eles raciocinam também a partir do fato de que observa-se que algumas coisas se contraem e são comprimidas . . . o que implica que o corpo comprimido se contrai nos vazios existentes nele.

Também o crescimento (de um animal ou planta) é imaginado ocorrendo através de vazios, pois o alimento é corpóreo, e é impossível que dois corpos estejam juntos (no mesmo local, ao mesmo tempo).

Também encontram uma prova disso no que acontece com as cinzas, que absorvem tanta água quanto o recipiente vazio. (ARISTÓTELES, *Física*, 213b 15-22).

Ao que Aristóteles responde:

As coisas podem ser comprimidas sem ser por seus vazios, e sim porque elas espremem para fora aquilo que continham — como, por exemplo, quando a água é comprimida, o ar

dentro dela é expelido. E as coisas podem aumentar não apenas pela entrada de algo, mas também por mudança qualitativa — por exemplo, se a água se transforma em ar.

... Pode ocorrer que [no crescimento] nem todas as partes do corpo cresçam, ou os corpos podem crescer sem adição de um corpo, ou podem existir dois corpos no mesmo lugar...

É evidente, portanto, que é fácil refutar os argumentos pelos quais eles provam a existência do vácuo. (ARISTÓTELES, *Física*, 214a 32 - b 11).

Aqui, a resposta de Aristóteles não é muito boa, pois aparentemente os corpos podem aumentar ou diminuir de tamanho sem que se veja nada entrar ou sair deles (por exemplo, o ar encerrado em uma bexiga, que aumenta de tamanho ao Sol e diminui à sombra). Além disso, no caso da mudança qualitativa (quando a água se transforma em vapor, ou "ar") também não se compreende facilmente o motivo da variação de volume. Talvez o que Aristóteles queira dizer é que, em uma mudança qualitativa, todas as características do corpo podem mudar e não devemos nos espantar com a alteração de volume.

Por fim, quanto ao crescimento, a resposta é a mais fraca de todas: ele prefere até mesmo admitir a penetralidade dos corpos para não aceitar a hipótese do vácuo.

Em outra obra (*Sobre geração e corrupção*, livro I, cap. 5), Aristóteles volta a discutir o crescimento e a expansão e não resolve totalmente o problema. O caso da transformação da água em ar (ou vapor) é o mais simples, para ele: há uma alteração qualitativa da água e, nessa transformação, mudam as propriedades da matéria — inclusive seu volume. Nada material penetra na água, para transformá-la em "ar". Mas, no caso do crescimento, não há esse tipo de mudança qualitativa:

É evidente que todas as partes da coisa que cresce aumentam e que, similarmente, na diminuição todas as partes se tornam menores. Além disso, (é evidente) que uma coisa cresce pelo acréscimo de algo, e diminui por sua saída. Deve portanto crescer ou pelo acesso de algo incorpóreo ou de um corpo. Ora, se ele cresce pelo acesso de algo incorpóreo, deve existir um vazio separado [pois há um aumento total de volume]; mas é impossível que exista uma extensão separada. Se, por outro lado, cresce pelo acesso de um corpo, então existirão dois corpos no mesmo lugar — aquele que cresce e aquele que o faz crescer; e isso também é impossível (ARISTÓTELES, *Sobre a geração e a corrupção*, livro I, capítulo 5, 321a 3-9).

A solução não é muito clara. Aparentemente, Aristóteles acredita que, entre as várias partes homogêneas de um corpo (seus tecidos) existem dutos que podem transportar o alimento; e que esse alimento adere à superfície dos tecidos homogêneos e faz com que eles cresçam. Ou seja: ele acaba por negar que todas as partículas de uma coisa em crescimento crescem.

Outros argumentos são discutidos por Aristóteles em outros locais. Um deles (que reaparecerá em tempos posteriores) se refere ao "peso" e à "leveza" dos corpos e à quilo que atualmente denominamos "densidade". Os atomistas mantinham que corpos de diferentes densidades diferiam uns dos outros pela quantidade de espaços vazios em seu interior, já que todos os átomos eram igualmente "cheios" (igualmente densos, diríamos).

Como, nos corpos compostos, o peso não é correspondente ao volume, sendo muitas vezes o menor volume superior em peso (como, por exemplo, se um for de lã e o outro de bron-

zel), há alguns que pensam e dizem que a causa deve ser encontrada em outra coisa: o vazio, dizem, que está aprisionado nos corpos os torna mais leves e algumas vezes faz com que o maior corpo seja mais leve. A razão seria que nele existe mais vazio. (ARISTÓTELES, *Sobre os céus*, livro IV, cap. 2, 309a 3-8).

Em seguida a esse trecho, no entanto, Aristóteles critica essa visão: ela não poderia, em sua opinião, explicar a "leveza absoluta", que é a tendência de certos corpos (como o fogo) a *subirem*, ao invés de caírem em direção à Terra. Essa discussão está associada ao problema dos "movimentos naturais", que não podemos discutir aqui, pois nos levaria muito longe de nosso tema central.

Por fim, citaremos o argumento de que devem existir poros (vácuos intersticiais) nos corpos transparentes, para permitir a passagem da luz através da matéria. O mesmo ocorreria no caso do som:

Alguns filósofos pensam que o agente último — o "agente" em seu sentido estrito — entra por certos poros e assim o objeto sofre a ação. É deste modo, dizem eles, que vemos e ouvimos e exercitamos todos os nossos outros sentidos. Além disso, de acordo com eles, as coisas são vistas através do ar, da água e de outros corpos transparentes porque tais corpos possuem poros, invisíveis devido a seu pequeno tamanho, mas próximos e alinhados em filas; e os corpos mais transparentes seriam aqueles em que os poros fossem mais frequentes e regulares. (ARISTÓTELES, *Sobre a geração e a corrupção*, livro I, cap. 8, 324b 27-32).

No entanto, para Aristóteles, a luz e o som não são corpos materiais e portanto não precisam de espaços vazios para atravessar os corpos. A impenetrabilidade só se aplica a corpos materiais.

Até aqui, vimos que Aristóteles tenta combater os argumentos favoráveis ao vácuo. Por outro lado, ele apresenta argumentos novos, que procuram mostrar a necessidade de se acreditar em um universo totalmente cheio de matéria, sem vazios.

Os argumentos dinâmicos de Aristóteles a favor do "plenum" se referem à teoria dos movimentos locais. Em primeiro lugar, utiliza um argumento de simetria para tentar mostrar que no vácuo não pode existir movimento em uma direção determinada. O argumento supõe que a causa de um movimento violento é externa (isso é parte do próprio conceito de movimento violento) e que, no vácuo, não existe causa nenhuma (pois ele é vazio).

Dizem que o vazio deve existir para que exista movimento; mas o que aparece, se estudarmos o assunto, é o oposto: que nenhuma coisa pode se mover se existe um vácuo. . . No vácuo as coisas devem estar paradas; pois não há um lugar para onde as coisas possam se mover mais ou menos do que para outro; pois o vácuo, sendo vazio, não possui diferenças.

As coisas lançadas movem-se mesmo quando aquilo que lhes deu impulso não as toca mais — seja por motivos de substituição mútua, como alguns mantêm, ou porque o ar, que foi empurrado, empurra-as com um movimento mais rápido do que a locomoção dos projéteis . . . Mas em um vácuo nenhuma dessas coisas pode ocorrer, e nada pode se mover exceto se for movida ou carregada.

Além disso, ninguém poderia dizer por que uma coisa, uma vez colocada em movimento, deveria parar em algum lugar; pois por que ela pararia aqui e não ali? Portanto, uma coisa ou ficaria em repouso ou se moveria ao infinito, a menos que algo mais poderoso entrasse em seu caminho.

Além disso, pensa-se que as coisas se movem no vácuo porque ele não tem resistência; mas em um vácuo esta qualidade está presente igualmente em todas as partes e assim as coisas deveriam se mover em todas as direções. (ARISTÓTELES, *Física*, 214b 28 – 215a 24).

Outro argumento faz uso da suposição de que a velocidade de queda de um corpo é inversamente proporcional à resistência de seu movimento; no vácuo (resistência nula), a velocidade dos corpos deveria ser infinita, o que é impossível (um corpo não pode estar em vários lugares diferentes ao mesmo tempo). No trecho transcrito a seguir, foi utilizada uma notação moderna, para tornar mais claro o raciocínio utilizado.

Por outro lado, a verdade do que afirmamos torna-se clara a partir das seguintes considerações. Vemos que um mesmo peso ou corpo move-se mais depressa do que outro por duas razões: ou porque há uma diferença naquilo através do qual eles se movem — como através da água, ar ou terra — ou porque, sendo outras coisas iguais, os corpos que se movem diferem uns dos outros por um excesso de peso ou de leveza.

Ora, um meio causa uma diferença porque ele impede o movimento da coisa — principalmente se ele se mover em direção oposta, mas em um grau inferior mesmo se ele estiver parado...

(Suponha que um corpo) A se move através (do meio) B no tempo C e atravessa D, que é mais rarefeito, no tempo E, proporcional à densidade do corpo resistente, sendo os comprimentos de B e D iguais.

$$[C/E = B/D \text{ ou } t_1/t_2 = d_1/d_2]$$

Seja B a água e D o ar. Então, assim como o ar é mais rarefeito e mais incorpóreo do que a água, o corpo A se moverá através de D (o ar) mais rapidamente do que através de B (a água). Suponhamos então que a velocidade tem para a velocidade e mesma razão que a água para o ar.

$$[v_1/v_2 = d_2/d_1]$$

Então, se o ar fosse duas vezes mais rarefeito, o corpo atravessaria B no dobro do tempo em que atravessa D, e o tempo C seria o dobro do tempo E. E sempre, quanto mais um meio é incorpóreo, menos resistente, e mais facilmente dividido, mais rápido o movimento.

Ora, não existe uma razão em que o vazio é excedido por um corpo, assim como não existe uma razão entre zero e um número... Da mesma forma, o vazio não pode manter uma razão para com o pleno, e portanto também não pode (existir uma razão entre) o movimento em um para o movimento no outro; mas se uma coisa se desloca no meio mais denso tal e tal distância em tal e tal tempo, ele se moverá através do vácuo com uma velocidade além de qualquer razão (ARISTÓTELES, *Física*, livro IV, cap. 8, 215a 24-215b 23).

O raciocínio de Aristóteles é interessante. Se as velocidades de queda fossem realmente inversamente proporcionais às densidades do meio, a velocidade de queda no vácuo seria "infinita" (excederia qualquer razão) e isso é impensável, para a mente grega.

Há ainda outros argumentos dinâmicos de Aristóteles contra o vácuo, mas não iremos apresentá-los.

4 A ANTIGÜIDADE, APÓS ARISTÓTELES

Apesar da importância de Aristóteles e do poder de sua argumentação, vários pensadores posteriores continuaram a manter a defesa do vácuo. Dentre eles, vamos descrever as idéias do atomista Lucretius (1º século D.C.).

No texto de Lucretius, a argumentação a favor do vácuo é essencialmente a seguinte (*De rerum natura*, livro I, 329-369):

- a) Se não houvesse espaço vazio, as coisas não se moveriam, pois estariam bloqueadas por todos os lados; porém, elas se movem; logo, existem espaços vazios.
- b) Mesmo em coisas que parecem sólidas e cheias existem vazios, pois a água atravessa a rocha das cavernas, o alimento se distribui pelo corpo dos animais e plantas, a voz atravessa paredes, o frio penetra o corpo até os ossos — e nada disso poderia ocorrer sem a existência de vazios. Em outro local, Lucretius reitera que o suor atravessa nosso corpo, os pêlos crescem, o frio e o calor atravessam o bronze, ouro e prata, os cheiros atravessam sólidos, etc. (*De rerum natura*, livro VI, 936-958).
- c) Existem coisas de diferentes pesos, apesar de ocuparem o mesmo espaço; isso indica que algumas são mais vazias do que outras.

Tendo já estudado as críticas de Aristóteles, é fácil ver que Lucretius não prova a existência de vazios, através desses argumentos. Todos eles já eram conhecidos. Lucretius não discute os argumentos opostos de Aristóteles, contra o vácuo.

No entanto, há algumas coisas novas. Como vimos, Platão e Aristóteles defendiam a idéia de um “pleno” e o movimento dos corpos se daria por deslocamento mútuos de matéria. Discutindo a visão de Platão e Aristóteles — sem citá-los — Lucretius discute o início do movimento de um peixe: ele não pode começar a se mover se não houver um local vazio para onde ele possa se mover; e a água não começará a se mover antes que o peixe se mova; se tudo está completamente cheio, conclui Lucretius, o movimento não pode começar (*De rerum natura*, livro I, 370-385).

O argumento é interessante; mas para respondê-lo basta aceitar que a matéria é compressível — um fato aceito por todos, na época. Ao começar a se mover, um corpo precisa apenas comprimir a matéria à sua frente.

Lucretius aponta também um modo de *produzir* um espaço vazio: se dois corpos achatados e grandes (como duas placas de mármore) estão em contato e são bruscamente separados, será impossível que o ar penetre instantaneamente até o ponto central das placas; portanto, haverá (pelo menos durante algum tempo) um vácuo entre as placas (*De rerum natura*, livro I, 386-397).

Este argumento das placas será, posteriormente, discutido em mais detalhe.

Na antigüidade, no entanto, o autor que mais claramente defendeu a existência do vácuo, com argumentos empíricos, foi Heron de Alexandria. Na “Introdução” da sua obra *Pneumatica*, sua defesa aproxima-se bastante da visão moderna. Por isso, vale à pena transcrever um longo trecho dessa obra:

Alguns afirmam que não existe o vazio; outros que, embora não exista um vazio contínuo na natureza, ele pode ser encontrado distribuído em minúsculas porções no ar, água, fogo e todas as outras substâncias. Adotamos essa última opinião, que demonstraremos ser verdadeira a partir de fenômenos sensíveis.

...

Não se deve portanto supor que existe na natureza um vácuo distinto e contínuo, porém que ele está distribuído em pequenas medidas através do ar, água e outros corpos. Apenas a pedra adamantina talvez não tenha essa qualidade, pois não admite fusão ou fratura e, quando martelada sobre uma bigorna, enterra-se nela completamente. Essa peculiaridade, no entanto, é devida a sua excessiva densidade; pois as partículas do fogo, sendo mais grossas

do que os espaços vazios da pedra, não passam através dela, mas apenas tocam a superfície externa; conseqüentemente, como não penetram nela, como o fazem em outras substâncias, não resulta nenhum calor.

As partículas do ar estão em contato umas com as outras, no entanto não se encaixam e encostam em todos os pontos; há espaços vazios entre elas, como na areia da praia: os grãos de areia devem ser imaginados como correspondendo às partículas do ar e o ar entre os grãos de areia aos espaços vazios entre as partículas do ar. Portanto, quando alguma força lhe é aplicada, o ar se comprime e, contrariamente à sua natureza, cai em espaços vazios pela pressão exercida sobre suas partículas. Mas, quando a força é retirada, o ar retorna a sua posição primitiva pela elasticidade de suas partículas, como ocorre com raspas de osso e esponjas, as quais, quando comprimidas e depois liberadas, retornam à mesma posição e mostram o mesmo tamanho. De modo semelhante, se pela aplicação de força as partículas do ar são separadas e é produzido um vácuo maior do que natural, as partículas se reúnem, posteriormente; pois os corpos se movem rapidamente através do vácuo, quando nada os repele ou obstrui, até estabelecerem contato. Assim, se um recipiente leve com uma boca estreita for tomado e aplicado aos lábios, sugando-se e retirando o ar, o recipiente ficará suspenso dos lábios e o vácuo puxará a carne para si, a fim de que o espaço vazio possa ser preenchido. É evidente a partir daí que havia um vácuo contínuo no recipiente. O mesmo pode ser mostrado pelas taças em forma de ovo usadas pelos médicos, que são feitas de vidro e possuem bocas estreitas. Quando desejam preenchê-las com um líquido, sugam o ar aí contido, colocam o dedo sobre a boca dos recipientes e os invertem no líquido; então, retirando o dedo, a água é puxada para o espaço vazio, embora o movimento ascendente seja contrário à sua natureza. A operação das ventosas é muito semelhante; quando aplicadas ao corpo, não só não caem, mesmo se forem de peso considerável, mas até mesmo puxam a matéria contígua para elas, através das aberturas do corpo. A explicação é que o fogo colocado dentro delas consome e rarefaz o ar que contém, . . . Quando, portanto, é consumido e rarefeito pelo fogo, o ar das ventosas sai pelos poros laterais do vidro e o espaço interno se esvazia e atrai para si a matéria adjacente, seja de que tipo for . . .

Portanto, aqueles que afirmam a inexistência do vácuo podem inventar muitos argumentos sobre esse assunto e talvez pareçam discursar plausivamente, embora não ofereçam prova tangível. Se, no entanto, for mostrado por fenômenos sensíveis que existe um vácuo contínuo que pode ser produzido artificialmente; que existe também um vácuo natural, porém dividido em minúsculas porções; e que pela compressão os corpos preenchem esses vácuos espalhados; então, aqueles que apresentam tais argumentos plausíveis sobre esse assunto não poderão mais sustentar-se.

Além disso, pode-se perceber que existem espaços vazios pelas seguintes considerações: se não existissem esses espaços, nem luz, nem calor, nem qualquer outra força material poderia penetrar através da água, do ar ou de outros corpos. Como poderiam os raios do Sol, por exemplo, penetrar através da água até o fundo do recipiente? Se não existissem poros no fluido e os raios empurrassem a água por sua força, a consequência seria que recipientes cheios transbordariam, o que, no entanto, não ocorre. Além disso, se os raios empurrassem a água para os lados, não ocorreria que alguns fossem refletidos e outros penetrassem [a superfície da água]; mas de fato os raios que colidem com as partículas de água são devolvidos e refletidos, enquanto os que encontram os espaços vazios, encontrando apenas poucas partículas, penetram até o fundo do recipiente.

Também é claro que existem espaços vazios na água a partir disto: quando se derrama vinho na água, vê-se que ele se espalha por todas as partes da água, o que não faria se não houvesse vazios na água. Além disso, uma luz atravessa outra; pois, quando várias lâmpadas estão acesas, todos os objetos ficam brilhantemente iluminados, passando os raios em todas as direções, uns através dos outros. E é realmente possível penetrar através do bronze, ferro e todos os outros corpos, como se vê no exemplo do *Torpedo* marinho. (HERON DE ALEXANDRIA, *Pneumatica*, livro I, Introdução; *apud* COHEN & DRABKIN, *Source book*, pp. 248-54).

Heron apresenta, nesse texto, vários argumentos importantes. A possibilidade de rarefação e compressão do ar é muito difícil de entender sem a idéia de vácuo; além disso, a difusão do vinho na água também é de difícil explicação sem vácuos intersticiais. Outros argumentos, relativos à passagem da luz, calor e descarga elétrica (do *Torpedo*) pela matéria, não são tão fortes, pois pode-se negar (como faz Aristóteles) a materialidade da luz e desses outros efeitos.

5 O VÁCUO NA IDADE MÉDIA

Durante a Idade Média, o estudo das obras de Aristóteles trouxe de volta a discussão da possibilidade do vácuo. Entre os árabes, encontramos em Avicena (Ibn Sina), no século XI, uma discussão do tema. Seguindo de perto o pensamento de Aristóteles, Avicena examina a noção de espaço e de vazio, procurando mostrar *a priori* e, depois, por evidências empíricas, que ele não pode existir. Citaremos apenas as últimas:

As provas da inexistência do vácuo são numerosas.

A água se mantém no tubo retentor quando seu orifício superior é tapado, pois a água não pode se separar do recipiente, já que o espaço [do interior do recipiente] não pode permanecer vazio e as superfícies dos corpos não podem se separar a não ser colocando-se algo no lugar.

O mesmo ocorre no sifão: quando a água corre de uma extremidade desse tubo, ela não pára mais, pois se ela se escoasse de um lado e a água não subisse pelo outro lado, seria produzido o vácuo; portanto, necessariamente, a água que desce por essa extremidade atrai a água da outra extremidade, pois a parada da água não pode ser produzida senão por algo que intervenha.

A ventosa dos barbeiros puxa a pele para dentro dela porque ele puxa o ar ao aspirá-lo e porque o ar não pode se separar da pele, a menos que entre no espaço uma outra coisa; é por isso que a ventosa puxa a pele.

Que se coloque um copo exatamente dentro de um almofariz, de modo que nada possa entrar entre um e outro; o copo erguerá o almofariz.

Os engenheiros fazem outras experiências e as fundamentam todas sobre a inexistência do vácuo. (AVICENNE, *Le livre de Science*, vol. 2, pp. 26-7).

Esses exemplos, que Avicena não alega serem originais, parecem indicar que, entre os técnicos, a idéia da impossibilidade do vácuo era aceita sem discussão.

Uma posição semelhante, de negação do vazio a partir de experiências, é apresentada por Jean Buridan (século XIV):

Nas ciências naturais, deve-se aceitar como um princípio toda proposição universal que possa ser provada por indução experimental, tal como quando em muitos exemplos particulares algo claramente é assim e em nenhum exemplo deixou de sê-lo. Pois Aristóteles coloca muito bem que muitos princípios devem ser aceitos e conhecidos pelos sentidos, memória e experiência. . .

Através de tal indução experimental, parece-nos que nenhum lugar é um vácuo, pois em todos os lugares encontramos algum corpo natural, como o ar, a água, ou algum outro. Mas mostremos pela experiência que não podemos separar um corpo de outro a menos que surja entre eles um outro corpo. Se todos os furos de um fole fossem fechados perfeitamente de modo que não possa entrar o ar, não poderíamos nunca separar suas superfícies. Nem mesmo vinte cavalos poderiam fazê-lo, se dez puxassem de um lado e dez do outro;

eles não separariam as superfícies do fole a menos que algo o perfurasse ou atravessasse e outro corpo pudesse se colocar entre as superfícies.

Coloque-se um [canudo de] junco, com uma extremidade no vinho e a outra na boca. Sugando o ar do canudo, atrai-se o vinho para cima, embora ele seja pesado. Isso acontece porque é necessário que algum corpo sempre venha logo depois do ar que é sugado para cima, para evitar a formação de um vácuo. Devemos, portanto, admitir que um vácuo não é naturalmente possível, como se conhece pelo método adequado para assumir e admitir princípios na ciência natural. (BURIDAN, *Questiones super octo physicorum libros Aristotelis*, livro IV, q. 8, fol. 73 verso, col. 1 — *apud* GRANT, *Source book in medieval science*, p. 326).

Note-se que uma das “experiências” de Buridan é imaginária: vinte cavalos, atados a um fole, iriam desfazê-lo em pedaços. Aceitando que o vácuo não pode existir, Buridan *infere* o resultado de um experimento hipotético. Quanto ao exemplo do canudo, é semelhante ao das ventosas e outros descritos anteriormente. É um forte argumento, pois não se pensava, na época, que o líquido pudesse ser empurrado pela pressão do ar externo.

É importante observar que Buridan de forma nenhuma era um cego seguidor de Aristóteles. Em muitos pontos, Buridan se afastou da tradição e antecipou a ciência moderna (como na idéia de *ímpeto*, por exemplo). Sua defesa da impossibilidade do vácuo mostra que, a uma mente lúcida e bastante livre de preconceitos, esses argumentos pareciam extremamente fortes.

Não havia, no entanto, unanimidade. Exatamente na mesma época, Nicholas de Autrecourt (séc. XIV) defendia a existência do vácuo no interior dos corpos.

A discussão de Nicholas de Autrecourt sobre o vácuo é bastante longa e detalhada. Faz parte de um tratado, “*Exigit ordo executionis*” que só foi publicado 50 anos atrás, a partir de um manuscrito (O'DONNELL, 1939).

Inicialmente, na parte de seu tratado que se refere ao vácuo (O'DONNELL, 1939, p. 217ss), Nicholas discute a relação entre o movimento e a existência de espaços vazios. Ele mantém que, para que um corpo se mova no ar, é necessário que o ar à sua frente se condense; e que essa condensação pode ocorrer porque existem vazios no ar. Para exemplificar essa idéia, Nicholas apresenta um interessante exemplo: o aumento de volume do vinho novo (devido à fermentação):

Pode-se adicionar outro argumento sobre o vinho novo (*musto*) que está em uma jarra; quando se rarefaz, aparenta ter maior quantidade, mas não houve geração de uma nova qualidade . . . nem adição de novos corpos, mas deve-se ver apenas que as partes próximas, que estavam como espremidas, agora se separam e ficam mais distantes umas das outras. (NICHOLAS, *Exigit ordo executionis* in: O'DONNELL, 1939, p. 218, 11-15).

No entanto, Nicholas nega a existência de vácuos extensos e utiliza o exemplo da “*Clepsidra*”. Esse instrumento, já conhecido por Aristóteles (*Sobre a respiração*, cap. 7, 473b 9; *Problemata*, livro XVI, cap. 8, 914b 9), consiste em um recipiente oco, com perfurações embaixo e uma abertura na parte superior. Colocando-se a clepsidra na água, ela se enche; depois, tampando a abertura superior, ela pode ser retirada da água, mantendo-se cheia — só se esvazia quando a abertura superior é destampada.

Outros argumentos para a negação do vácuo são adicionados, como certas experiências naturais que não veríamos ocorrer a não ser pela impossibilidade do vácuo. A primeira é a da clepsidra, um vaso que possui abertura abaixo e acima e repleto de água; se mantemos o dedo acima (na abertura), a água não sai, embora possua a natureza de descer; se ele for removido, desce. E que não desça no primeiro caso, não vemos [explicação] a não ser para evitar o vácuo (*fuga vacui*), pois haveria um vácuo se (a água) saísse, pois, estando em cima fechado, nenhum outro corpo pode entrar por aí; nem por baixo, pois então dois corpos estariam ao mesmo tempo no mesmo lugar, o que é impossível. Diga-se que esta razão não se aplica contra a conclusão que mantemos [dos vácuos intersticiais], pois não supusemos que seja possível existir tal vácuo separado que haveria se a água fosse removida (NICOLAS, *Exigit ordo executionis*, in: O'DONNELL, 1939, p. 219-20).

É interessante que Nicholas afirma “ter ouvido uma resposta sutil” a esse argumento: a água não fluiria da clepsidra por um outro motivo e não para evitar o vácuo: a causa do fenômeno seria que o universo todo está cheio e que, se a água saísse sem que algo entrasse na clepsidra, essa água teria que ocupar um espaço que já estava cheio. A explicação seria, portanto, a impenetrabilidade dos corpos. Mas Nicholas afirma preferir a primeira explicação.

A situação era, aparentemente, muito confusa. Eram aceitas, na discussão, descrições de fatos que, atualmente, não parecem plausíveis. Os adversários do vácuo alegavam que uma bexiga inflada não pode ser comprimida e que deveria poder sê-lo, se houvesse espaços vazios no ar. Concluíam daí que não existem vácuos no ar. O fato alegado, é claro, não é verdadeiro. No entanto, Nicholas de Autrecourt o aceita como verdadeiro e tenta explicá-lo (NICOLAS, *Exigit ordo executionis*, in: O'DONNELL, 1939, p. 220).

Outras interessantes experiências imaginárias são discutidas por vários autores. Marsilius de Inghen (séc. XIV), que nega a possibilidade do vácuo, descreve a seguinte:

Seja um corpo internamente côncavo [e fechado] . . . e cheio de ar. Este corpo, portanto, cheio de ar, é colocado na água ou em algo que esteja intensamente frio, de tal modo que o ar contido no recipiente se condense, pois o frio provoca condensação. Portanto, o ar ocupará um menor espaço do que antes e, conseqüentemente, haverá um vácuo. Deve-se no entanto responder que é impossível que o ar nesse corpo se condense pelo frio, por mais frio que esteja, a menos que o recipiente se quebre ou exista uma abertura nele através da qual outro corpo possa entrar (MARSILIUS, *Questiones . . . super octo libros Physicorum*, livro IV, q. 13, apud GRANT, *Source book in medieval science*, pp. 327-8).

6 PSEUDO-EXPERIMENTOS SOBRE O VÁCUO NO RENASCIMENTO

Posteriormente, a situação continuou igualmente confusa, como mostra muito bem o artigo de Schmitt, a respeito das discussões sobre o vácuo no século XVI (SCHMITT, 1966). Francisco de Toledo, por exemplo, usava o argumento do fole, afirmando que é impossível abrir um fole tampado e que, se for aplicada uma força muito grande, ele se quebrará antes de haver uma separação de seus lados. Ao que Bernardino Telesio, defensor do vácuo, afirmava que o fole não se quebraria, se fosse “grosso e pesado”, podendo então ser aberto por uma grande força (SCHMITT, 1966, p. 355-6). Francisco Patrizi, também defensor da possibilidade do vácuo, afirma a possibilidade de um experimento que nos parece inviável:

Se uma bolsa cheia de água for espremida, a água sairá e a bolsa permanecerá comprimida. Amarre-se então sua boca, através da qual saiu a água, tão fechada quanto possível. Feito isso, estique-se a bolsa com as mãos. Ela seguirá as mãos e assim o espaço interno se tornará maior; e como nem ar, água ou qualquer outro corpo entrou nela através da boca fechada, quem duvidará que o espaço interno está vazio de todo corpo? E assim, através do emprego de instrumentos naturais e artificiais, os próprios sentidos, a observação e o raciocínio deles tirados mostraram muito claramente que existem e podem existir vácuos e espaços vazios no mundo (PATRIZI, *Pancosmia*, livro I, 63b; in BRICKMAN, 1943, p. 234).

Em princípio, acreditamos que um experimento como este é realizável; mas como fechar bem a boca da bolsa de água? e como agarrar seus lados firmemente, para poder abri-la, já que seria necessária uma grande força? Mais uma vez, trata-se de um experimento imaginário.

Outro tipo de situação, bastante discutida, é uma nova versão do experimento descrito anteriormente por Marsilius de Inghen. Discutia-se o que ocorreria se um recipiente fechado, totalmente cheio de água, fosse resfriado de tal modo a congelar a água. Acreditava-se que a água, ao se congelar, se contraía; e discutia-se se seria formado um espaço vazio no recipiente. Francisco de Toledo admitia que a água se congelaria e que diminuiria de volume, mas que o espaço livre não ficaria vazio e sim cheio de "vapores sutis". Por outro lado, outros opositores do vácuo afirmavam que o recipiente se quebraria, se a água se congelasse; ou que a água não se solidificaria, para evitar o surgimento do vácuo (SCHMITT, 1966). Telesio e Patrizi, pelo contrário, afirmavam que haveria congelamento e formação de vácuo:

Se enchermos uma jarra com água, óleo ou vinho e a fecharmos bem no topo, expondo-a a uma temperatura extremamente baixa no inverno, o líquido congelará e fará parte da jarra ficar vazia. Todas essas coisas cada um pode experimentar por si próprio. E assim, através desses vários experimentos, é estabelecida a possibilidade do espaço vazio . . . (PATRIZI, *Pancosmia*, livro I, 63 b; in BRICKMAN, 1943, p. 234).

Nenhum dos autores percebeu que o gelo, sendo menos denso do que a água (pois flutua nela — pensem no princípio de Arquimedes), ocuparia *mais* espaço. Como sabemos, se a experiência fosse feita, o resultado mais comum seria que a água se congelaria e o recipiente se quebraria, mas pela expansão da água e não para evitar o vácuo.

Outro experimento muito discutido era o da clepsidra. Telesio e Patrizi utilizaram o experimento a favor do vácuo, afirmando que, se a clepsidra tiver furos grandes embaixo, a água sairá, produzindo um vácuo dentro; afirmam também que, se a clepsidra estiver cheia de areia fina, ou óleo, ou mel, eles sairão pelos orifícios da clepsidra, pois "são mais pesados do que a água". É claro que eles não devem ter tentado todos esses experimentos, pois o óleo e o mel não fluirão pelos orifícios.

Muitas vezes, Aristóteles e seus seguidores foram ridicularizados (por Galileo e outros) porque descreviam fatos que não podiam ter observado. Como se vê por esses exemplos, os adversários de Aristóteles caíam no mesmo erro. Descreviam fatos imaginários, ao invés de interrogar a natureza pela observação e pelo experimento.

7 NEGAÇÃO DO VÁCUO NO SÉCULO XVII: BACON E DESCARTES

Não se deve supor que apenas pensadores fortemente dependentes da tradição negavam o vácuo. Para dar um exemplo de um pensador "progressista" e que, em geral, se opõe à tradição, pode-se indicar Francis Bacon, que não aceitava os argumentos dos atomistas:

... não podemos determinar com certeza se existe um vácuo, seja extenso ou misturado à matéria. No entanto, estamos convencidos de que é falsa a razão indicada por Leucipo e Demócrito para a introdução de um vácuo (a saber, que de outra forma o mesmo corpo não poderia compreender e preencher espaços maiores e menores). Pois é claro que existe um dobramento (*folding*) da matéria, que se embrulha e desembulha no espaço dentro de certos limites, sem a intervenção de um vácuo. Também não existe duas mil vezes mais vácuo no ar do que no ouro, como deveria haver, de acordo com essa hipótese; fato esse que é demonstrado pelas energias muito poderosas dos fluidos (que, de outra forma, flutuariam como um fino pó no vácuo) e muitas outras provas. (BACON, *Novo organum*, livro II, af. 48; p. 187).

Em outros pontos de sua obra, Bacon parece também aceitar a idéia do "horror ao vácuo", que descreve sem criticar:

... o movimento de conexão pelo qual os corpos não permitem ser separados em ponto nenhum do contato de outro corpo, deliciando-se, por assim dizer, no mútuo contacto e conexão. Isso é o que as escolas chamam de um movimento para prevenir o vácuo. Ocorre quando a água é puxada por sucção ou por uma seringa, a carne por ventosas, ou quando a água permanece sem escapar de jarras perfuradas, a menos que a boca seja aberta para deixar entrar o ar, assim como inúmeros exemplos de natureza semelhante (BACON, *Novum organum*, livro II, af. 48; p. 180).

O maior representante, no século XVII, da oposição ao vácuo, é, sem dúvidas, René Descartes. Suas idéias ganharão uma forma clara e sistemática, paradoxalmente, na mesma época em que Torricelli fará seu famoso experimento barométrico. Mas vamos deixar os desenvolvimentos experimentais para a próxima seção e descrever, rapidamente, as concepções de Descartes.

Na segunda parte de seus *Princípios da Filosofia* (editado em latim em 1644 e em francês em 1647), Descartes discute a natureza dos corpos materiais. Defende a concepção de que não é o peso, a dureza, a cor ou outra propriedade semelhan-te que caracteriza os corpos e sim sua *extensão*: largura, comprimento e profundidade. Pois não se pode pensar em um corpo sem extensão, embora se possa pensar em um corpo sem peso, sem calor, etc. (DESCARTES, *Principes de la philosophie*, 2ª parte, § 4). Em seguida, nega a existência de vazios nos corpos, dando uma explicação para a condensação e rarefação: um corpo aumenta ou diminui de tamanho quando "algo" entra ou sai de seus poros, como uma esponja na água, que pode aumentar ou diminuir de volume absorvendo ou expulsando o líquido (comparação já utilizada por Aristóteles). Esse "algo" que preenche os poros dos corpos materiais seria o éter — uma concepção de éter bem diferente da de Aristóteles, aliás, e que se assemelha à de Paracelsus (ver LENOBLE, *Mersenne*, p. 146). Mais adiante, Descartes defende a impossibilidade da existência de espaços vazios:

Quanto ao vazio, no sentido que os Filósofos dão à essa palavra, ou seja, um espaço onde não existe nenhuma substância, é evidente que não existe nenhum ponto do espaço no universo que seja assim, pois a extensão do espaço ou do lugar interno não difere da extensão do corpo. E como, apenas por ser extenso em comprimento, largura e profundidade, podemos concluir que um corpo é uma substância (pois concebemos que não é possível que aquilo que nada é tenha extensão), devemos concluir o mesmo em relação ao espaço que se supõe vazio: ou seja, que, já que existe extensão nele, aí existe também necessariamente substância. (DESCARTES, *Principes*, 2ª parte, § 16).

Descartes discute, depois, uma questão que pode ser encontrada em autores medievais: poderia Deus produzir um espaço vazio? E responde negativamente:

Quase todos nós fomos tomados por esse erro desde o começo de nossas vidas, pois, vendo que não há ligação necessária entre um vaso e o corpo que ele contém, pareceu-nos que Deus poderia retirar todo o corpo que está contido em um vaso e conservar esse vaso em seu próprio estado, sem que fosse necessário que nenhum outro corpo se substituísse no lugar daquele que teria sido retirado. Mas, para que possamos agora corrigir uma opinião tão falsa, observaremos que não existe ligação necessária entre o vaso e um corpo que o preenche, mas que ela é absolutamente necessária entre a forma côncava desse vaso e a extensão que deve estar contida nessa concavidade, de tal modo que é tão repugnante conceber uma montanha sem vale quanto tal concavidade sem a extensão que ela contém; e [é igualmente repugnante conceber] essa extensão sem alguma coisa extensa, pois o nada, como já foi observado muitas vezes, não pode possuir extensão. Por isso, se nos perguntarem o que aconteceria se Deus retirasse todo o corpo que está em um vaso, sem permitir que aí penetrasse um outro, responderemos que os lados desse vaso se encontrariam tão próximos que se tocariam diretamente. Pois é necessário que dois corpos se toquem quando não existe nada entre eles, já que seria contraditório que esses corpos estivessem afastados — ou seja, que houvesse distância de um até o outro — e que no entanto essa distância nada fosse: pois a distância é uma propriedade da extensão, que não poderia subsistir sem alguma coisa extensa (DESCARTES, *Principes de la philosophie*, parte 2, §18).

Embora, para nós, a visão de Descartes pareça bizarra e um mero jogo de palavras, há por trás dela uma lógica implacável. Não discutiremos aqui, no entanto, esse ponto, que foi abordado em um outro trabalho (ver MARTINS, *Em busca do nada*). Apenas enfatizaremos que Descartes em nenhum ponto de suas obras discute as evidências experimentais contra ou a favor do vácuo. Basta-lhe a razão, para ter certeza de que um espaço sem substância é impossível.

8 OS PRECEDENTES DE TORRICELLI: DENSIDADE E PRESSÃO DO AR

Costuma-se atribuir a Torricelli e a Pascal a derrota experimental da tradição e o início da crença racional no vácuo e na pressão atmosférica. Atribui-se a Galileu o início das especulações que levaram ao experimento de Torricelli. A história é, porém, muito mais complexa e envolve um número muito maior de atores. Uma boa parte dessa história foi desvendada por Cornelis de Waard, 50 anos atrás (WAARD, *L'expérience barométrique*).

Há duas linhas principais de investigação que conduzem ao barômetro. Uma é a idéia de que o ar tem peso e produz pressão e, por isso, efeitos físicos anteriormente atribuídos ao "horror ao vácuo". A outra é a descoberta de fenômenos em que um espa-

ço aparentemente vazio é de fato produzido e as conseqüentes investigações sobre sua natureza e causa.

Retornemos ao velho Aristóteles. Em um famoso trecho do "Sobre os céus", ele fala sobre o peso dos vários elementos e afirma:

Todos os elementos, exceto o fogo, possuem peso; e todos possuem leveza, exceto a terra. A terra e os corpos nos quais ela predomina possuem peso em todos os locais; a água é sempre pesada, exceto na terra; e o ar é pesado quando não está na terra ou na água. Em seu próprio local, cada um desses corpos possui peso, até mesmo o ar — excetuando-se o fogo. A evidência disso é que uma bexiga cheia pesa mais do que quando vazia (ARISTÓTELES, *Sobre os céus*, livro IV, cap. 4, 311b 4-11).

De acordo com nossos conhecimentos atuais, uma bexiga cheia de ar, no ar, apenas apresentará um peso maior do que vazia se o ar estiver comprimido (mais denso) dentro dela. É difícil saber se Aristóteles tinha condições de observar essa diferença. Sabe-se, no entanto, que Simplicios tentou repetir a experiência, sem sucesso (DUHEM, 1906, p. 769). Em seu comentário ao *Sobre os céus*, Simplicios supõe que Aristóteles cometeu um erro e que, ao soprar a bexiga, introduziu umidade, além do ar — o que produziu um aumento do peso.

Essa questão foi muito discutida na Idade Média, mas, aparentemente, nenhum autor procurou repetir a experiência ou utilizar sua idéia para determinar o peso (ou densidade) do ar. Gerolamo Cardano, no século XVI, tentará medir a densidade do ar através de um princípio totalmente diferente: pela sua resistência ao movimento. Seguindo, com poucas diferenças, as idéias de Aristóteles, Cardano supõe que se dois móveis de mesmo tamanho e forma caem com igual velocidade em dois meios diferentes, os pesos desses dois móveis serão proporcionais aos quadrados das densidades dos meios. Baseando-se, depois, em dados experimentais, afirma que a densidade da água é 50 vezes maior do que a do ar (DUHEM, 1906, p. 770). Mais tarde, como veremos, Mersenne retomará esse problema.

No início do século XVII, algumas pessoas já pensavam sobre o peso do ar e a pressão atmosférica. Um deles foi Isaak Beeckman, um holandês, que é bem conhecido pelos seus trabalhos com Descartes. Em um diário que manteve durante sua vida, Beeckman escreveu, em 1614:

Qual é a razão pela qual os corpos se movem em qualquer direção, de tal forma a evitar a existência de um vazio na natureza? Respondo: ocorre que o ar, do mesmo modo que a água, pressiona as coisas e as comprime de acordo com a altura do ar acima. Mas algumas coisas permanecem imperturbadas e não se movem porque são igualmente comprimidas por todos os lados pelo ar sobre elas, assim como nossos mergulhadores são comprimidos pela água. Mas as coisas se precipitam para um espaço vazio com grande força, por causa da imensa altura do ar acima, e desse modo surge o peso. Mas não se diz que o ar é pesado, pois caminhamos nele sem nada sofrer, como os peixes se movem na água, sem sofrer compressão (BEECKMAN, *Journal tenu par lui de 1604 à 1634*, vol. I, p. 36; *apud* MIDDLETON, *History of the barometer*, p. 6).

As idéias de Beeckman eram, em muitos pontos, semelhantes às atuais. Ele compara o ar a uma esponja, que pode ser comprimida mas tenta voltar a seu estado inicial, sen-

do elástica; sabia que o ar era muito mais compressível do que a água; e aplicou suas idéias para explicar o funcionamento das bombas de água: elas sugam o ar dos canos, reduzindo aí a pressão e, como a atmosfera pressiona a água fora do cano, ela é forçada a subir.

Beeckman não se baseava em nenhum fato novo. Pode-se dizer que estava apenas aplicando ao ar aquilo que se conhecia sobre os líquidos — já que a hidrostática estava bem desenvolvida desde Arquimedes, tendo, aliás, recebido um grande avanço graças a outro holandês, Simon Stevin, no século XVI. No entanto, não se pode negar o mérito de Beeckman. Pode-se compará-lo a Galileu que, na mesma época, era incapaz de pensar sobre a pressão do ar. Em 1612 e 1615, Galileu negava que a água e o ar pressionassem os corpos em seu interior (MIDDLETON, *History of the barometer*, p. 5).

É provável que Beeckman tenha influenciado Descartes que, apesar de não aceitar o vácuo, admitia a idéia da pressão atmosférica, como se verá adiante. Vê-se que ele manteve durante muito tempo essas idéias, pois Beeckman escreve a Gassendi, em 1629:

Mostrei que o ar é pesado, que ele nos pressiona de todos os lados de um modo uniforme, de modo que não sofremos por essa pressão e que essa gravidade é a causa daquilo que se chama horror ao vazio . . . O ar repousa sobre as coisas como a água e as comprime de acordo com a altura do fluido que ela suporta . . . as coisas se precipitam com grande poder para um lugar vazio, por causa da grande altura do ar que está acima delas e pelo que daí resulta (BEECKMAN, *Mathematico-physicarum meditationem*, p. 13, 45; *apud* DUHEM, 1906, p. 773).

Nessa mesma época, Jean Rey estudava a questão do peso do ar, porém a partir de outro tipo de preocupação: explicar as variações de peso ocorridas em reações químicas. Antecipando-se a Lavoisier, Rey estabeleceu em 1630 que o aumento de peso dos metais calcinados devia-se ao ar que se combinava com o metal (REY, *Essays*).

Na mesma obra, Rey afirma que é em virtude do peso do ar que ele preenche os poços e cavernas, exercendo sua pressão em todos os sentidos. Mersenne, que lê o livro de Rey, escreve-lhe uma carta em setembro de 1631, criticando essa idéia:

Quanto ao que adicionais, que o ar apenas desce nos poços ou cavernas por causa de seu peso, essa não é a verdadeira causa. Pois ele entra e preenche igualmente os buracos feitos para cima . . . e dir-vos-ão que isso ocorre por sua leveza, pois ele sobe, já que não é senão uma multidão de pequenas partículas que se exalam da terra e da água, sem o que existiria apenas o vazio. Essa opinião é aceita por muitos.

Não é que eu creia que a fuga ao vácuo seja a causa eficiente desse movimento do ar que vai preencher os furos; também não creio que seja sua causa final, pois aquilo que não existe e que não pode existir não pode, em minha opinião, ser causa final.

Mas penso que a causa desse preenchimento do ar, tanto para o alto quanto para baixo, vem do equilíbrio que a natureza retoma; pois a terra tirada das cavernas ocupa um lugar no ar e o empurra e obriga a descer ao lugar de onde foi tirada: de outra forma, seria preciso que o ar, que estava antes no espaço ocupado (agora) pela terra removida, desaparecesse, ou ocupasse o espaço de um outro ar por penetração, ou que empurrasse um (volume) igual de ar para os espaços imaginários . . . (MERSENNE, *apud* DUHEM, 1906, pp. 771-2; cf. LENOBLE, *Mersenne*, p. 428).

Como se vê, Mersenne ainda não tinha uma idéia clara da pressão atmosférica. A resposta de Jean Rey a essa carta mostra que também ele, embora mais próximo da concepção atual, não percebia todas as suas conseqüências:

... Dizeis que me dirão que o ar, que preenche os furos feitos para cima... deve ser considerado leve, pois sobe. Mas eu lhes diria que deve-se, pela mesma razão, dizer que a água é leve pois ela sobe em um barco pelos furos que são feitos em suas tábuas; ou... que sobe nos furos que se pode conceber serem feitos nas abóbadas das cavernas que existem sob as águas. Eles não admitirão isso, nem eu a eles o anterior. Tanto um quanto outro preenchimento se fazem pelo peso das partes mais elevadas do ar e da água, que pressionando as de baixo, as obrigam a empurrar as que estão próximas dos furos e os preenchem.

Vós mesmos o confirmais sem pensá-lo, quando dizeis que isso provém do equilíbrio que a natureza retoma; isso é bem verdade e estou convosco até aí. Mas deve-se ir além e perguntar de onde vem esse equilíbrio. A isso respondo que é pelo peso, pois todo equilíbrio o pressupõe: quem fala em equilíbrio não fala senão em uma igualdade de peso...

Suspenda-se uma prancha sobre a água, apenas tocando sua superfície; por mais que ela seja perfurada, não se verá jamais a água subir... porque não há nenhum corpo mais pesado em cima, que empurrando a obrigue a isso (REY, *apud* DUHEM, 1906, p. 772).

É claro que, na parte final, Rey se engana: colocando-se a prancha enconstada à água, supondo-se que ela é bem grossa e não deixa passar o ar por seu interior e furando-a de baixo para cima, a água subiria acima de seu nível normal, por causa da pressão do ar sobre a água. Rey percebe a pressão do ar, percebe a pressão da água mas não percebe que a pressão do ar sobre a água pode produzir efeitos ascendentes.

9 BALIANI E O SIFÃO INOPERANTE

Nessa mesma época, ocorre na Itália um evento que terá grandes conseqüências. Trata-se de um fato observado e explicado por Giovanni Batista Baliani (1582-1666), de Gênova. A contribuição de Baliani, que é pouco divulgada (embora conhecida pelos historiadores faz mais de um século), é comparável à de Torricelli.

Desde 1614, Baliani se correspondia com Galileu, que lhe escrevera a respeito do problema de pesar o ar, propondo soluções. Muito tempo depois, em 27 de julho de 1630, Baliani consultou Galileu sobre um fenômeno observado casualmente e que o perturbava. Desejava-se fazer passar água de um vale a outro, utilizando um longo sifão que subia uma colina cuja altura era de cerca de 20 metros (em unidades atuais). O vale onde estava a água ficava mais elevado do que o outro e parecia plausível que o sifão devia funcionar. Os dois lados do sifão foram enchidos com água, estando tampados embaixo. Depois, abrindo-se as bocas do sifão, para espanto de todos, a água saía pelos dois lados, simultaneamente, até cair toda. Também abrindo-se apenas o lado do sifão que ficava na fonte, a água descia até aproximadamente a metade do tubo, ficando então parada (GOVI, 1867). Baliani escreve a Galileu:

Andei pensando se poderia ocorrer que o canal ou sifão possuía alguns poros pelos quais não possa passar a água nem mesmo o ar, a não ser com grande violência; por isso, quando o tubo está cheio, a água pressiona tanto que faz tanta força [para sair] que o ar entra pelos poros que estão na parte superior, de modo que a água possa descer... sem que surja um

vácuo. Tendo descido, portanto (aproximadamente à metade), restando no tubo apenas essa água, ela não tem a força de fazer tanta violência ao ar que possa forçá-lo a entrar pelos poros acima indicados. O tubo é de cobre. . . pesa 15 onças por palmo e por mais esforço que se faça não se pode ver que possua furos sensíveis. (BALIANI, *apud* GOVI, 1867, pp. 565-6).

Pouco depois de receber a carta de Baliani, Galileo lhe responde (6 de agosto de 1630), procurando explicar o fenômeno. A explicação dada por Galileo é muito diferente da moderna. Pode ser descrita da seguinte maneira: quando se tenta puxar a água em um sifão (ou em uma bomba de aspiração), a coluna de água que está sendo puxada no tubo se comporta como se fosse uma corda que está sendo erguida: se for muito comprida, ela se quebra e não pode mais subir. A altura máxima a que a água pode subir, de acordo com Galileo, é de 40 pés (cerca de 12 metros). Galileo acreditava, portanto, em uma força limitada do vácuo, que só podia produzir efeitos até certo ponto.

Já se sabia, na época, que as bombas aspirantes não podem elevar a água acima de um certo limite de altura. Salomon de Caus, ilustre engenheiro, descreveu o fenômeno em 1615 (e provavelmente já era bem conhecido antes, pela prática). No entanto, sua explicação era bem diferente. Quando se tenta aspirar água a uma altura superior a seu limite (cerca de 10 metros), ela pára de subir e o ar acima dela fica cada vez mais rarefeito. Com a redução da pressão acima da água, ela começa a ferver, desprendendo vapor d'água a baixa temperatura. O fenômeno do borbulhamento havia sido observado, mas interpretado de outra forma: como não se sabia que a água podia ferver à temperatura ambiente, imaginou-se que as bolhas formadas eram de ar; e que esse ar estava, na verdade, vindo de fora (da atmosfera) e atravessando a água, atraído pela bomba de sucção. Salomon de Caus imaginou que essa entrada do ar através da água fosse a causa que impedissem a bomba de funcionar além de certo limite:

O ar passa através da água quando é pressionado . . . O ar, como foi dito, borbulhará através da água; há um acidente semelhante que ocorre nas bombas simples; é quando se quer forçar a água a subir mais alto do que permite a natureza da máquina; o ar entrará através da água, como será mostrado mais adiante . . . (SALOMON DE CAUS, *apud* DUHEM 1906, p. 778).

Chegamos agora ao ponto mais interessante do episódio do sifão de Baliani. Após receber a carta de Galileo, Baliani lhe escreve uma outra (26 de outubro de 1630) onde propõe uma nova explicação do fenômeno:

Já não possuo a opinião vulgar de que o vácuo é impossível, mas não acreditava que se pudesse produzir o vácuo em tanta quantidade e tão facilmente. E para não deixar de lhe dizer minha opinião sobre isso, tenho acreditado que o vácuo pode ser produzido naturalmente desde a época em que encontrei que o ar tem um peso sensível e que Vossa Senhoria me ensinou em uma carta sua o modo de encontrar seu peso exato — embora até agora não tenha conseguido fazer essa experiência. Formei portanto nessa época esse conceito de que não é verdade que repugna à natureza das coisas a produção do vácuo, mas apenas que seja difícil que ele se forme e que não pode ser dado sem grande violência e que se pode encontrar quanto deve ser essa tal violência exigida para formar-se o vácuo. Para explicar-me melhor, já que, se o ar pesa, a única diferença entre o ar e a água é a quantidade, é melhor falar sobre a água, cujo peso é mais sensível, porque o mesmo deverá acontecer com o ar.

Imagino-me, portanto, estar no fundo do mar, onde a água tenha a profundidade de dez mil pés — e, se não fosse preciso respirar, creio que poderia estar aí, embora me sentisse mais comprimido e pressionado por todos os lados do que estou agora; e por isso creio que não poderei estar no fundo de qualquer profundidade de água a qual, crescendo ao infinito, crescerá tanto essa compressão, em minha opinião, que meus membros não poderiam resisti-la. Mas, voltando, não sentirei outro trabalho pela dita compressão da água nem sentirei mais o peso da água do que aquele que percebo quando, entrando sob a água ao banhar-me no mar, tenho dez pés de água sobre a cabeça sem que sinta seu peso. Mas se eu não estivesse dentro da água, que me pressiona por todos os lados, e estivesse, não digo no vácuo, mas no ar, e se de minha cabeça para cima houvesse água, então sentiria um peso que não poderia sustentar senão se tivesse uma força proporcional a ele; de modo que, separando violentamente as partes superiores da água das inferiores, mesmo se aí não se formasse o vácuo mas entrasse o ar, de todo modo se exigiria força para separá-las — porém não infinita, mas determinada, e cada vez maior, conforme fosse maior a profundidade da água sob a qual eu estivesse; pela qual, não tenho dúvidas, se estivesse no fundo de dez mil pés de água, como dito acima, calcularia como impossível de fazer essa separação com qualquer força que fosse . . . e vê-se que não seria verdadeiramente impossível, mas que o impedimento viria de não ter tanta força que pudesse fazer tal violência à água que fosse suficiente para superá-la.

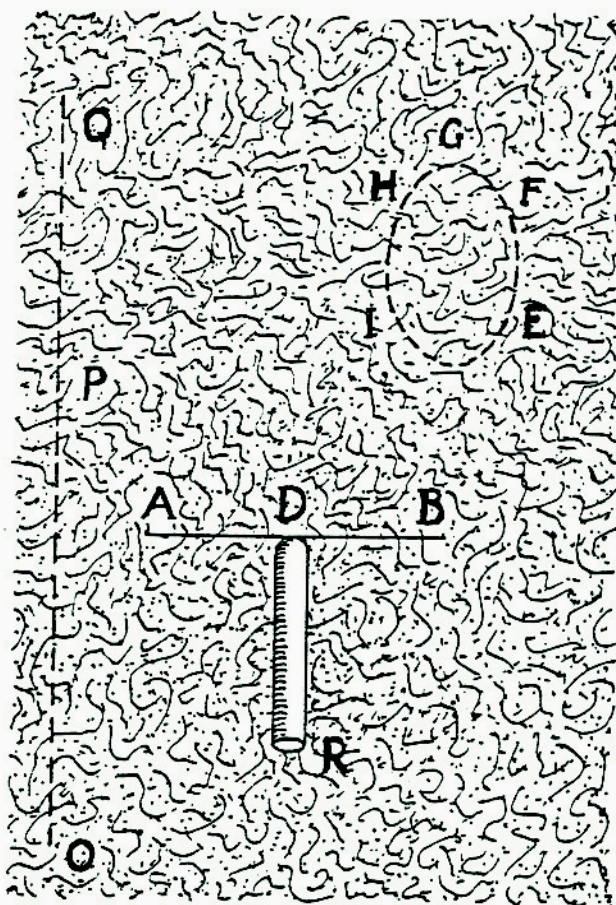
Penso que o mesmo ocorre no ar, pois estamos no fundo de sua imensidão e não sentimos nem seu peso nem a compressão que há por todos os lados, pois nosso corpo foi feito por Deus de tal qualidade que possa resistir muito bem a essa compressão sem sentir ofensa — sendo que ele é necessário e não se poderia ficar sem ele. Creio que, mesmo se não tivéssemos que respirar, não poderíamos ficar no vácuo; mas, se estivéssemos no vácuo, então sentiríamos o peso do ar que tivéssemos sobre a cabeça, o qual creio ser enorme. Pois, embora suponha que o ar é mais leve a maiores alturas, creio que a sua imensidão é tal que, por pouco que seja seu peso, deve-se admitir que se sentiria o de todo o ar que está acima. Esse peso é muito grande, mas não infinito — e, portanto, determinado. Com força proporcional a ele, seria possível superá-lo e assim causar o vácuo. Quem quisesse encontrar essa proporção precisaria saber a altura do ar e seu peso em cada altura. Mas, seja como for, eu realmente o julgava tal que, para causar o vácuo, imaginava que fosse necessária uma violência maior do que aquela que pode ser feita pela água no tubo com menos de 80 pés. (BALIANI, *apud* GOVI, 1867, p. 568-70).

Não fica totalmente claro como Baliani explica o fenômeno do sifão; mas, daquilo que diz na carta, podemos, com nossos conhecimentos atuais, completar facilmente o raciocínio. Para criar um vácuo, é preciso empurrar o ar, vencer sua pressão. No sifão, o peso da água empurra para baixo e vence a pressão da atmosfera, criando assim um vácuo.

Embora sem aceitar a possibilidade de um vácuo, Descartes parece ter, na mesma época, idéias semelhantes. Em uma famosa carta datada de 2 de julho de 1631 e provavelmente dirigida a seu discípulo Renér (embora o ano e o destinatário sejam duvidosos), Descartes apresenta as seguintes idéias:

Para resolver vossas dificuldades, imaginai o ar como se fosse lâ e o éter que está em seus poros como turbilhões de vento que se movem para cá e para lá nesta lâ; e pensai que esse vento que se lança de todos os lados entre os pequenos fios dessa lâ impede que eles se comprimam fortemente uns contra os outros, como poderia ocorrer sem isso. Pois todos eles são pesados e pressionam uns aos outros tanto quanto a agitação desse vento lhes permite, de modo que a lâ que está sobre a terra é comprimida por toda aquela que está acima, até além das nuvens. De tal modo que se tivéssemos que levantar uma parte dessa lâ que está, por exemplo, no ponto indicado O, com toda a que está acima, na linha OPQ, precisaríamos de uma força muito considerável. Ora, esse peso não é sentido comumente no ar, quando é

empurrado para cima; pois, quando elevamos uma parte, como, por exemplo, a que está no ponto E para F, a que está em F vai circularmente para GHI e retorna a E; e assim seu peso não é sentido, como também não sentimos o de uma roda, se a fazemos girar, desde que ela esteja perfeitamente equilibrada em seu eixo. Mas, no exemplo que apresentais, do tubo DR fechado pela extremidade D, por onde está preso à prancha AB, o mercúrio que vós imaginais estar dentro não pode descer de uma vez, a não ser que a lâ que está próxima de R vá para O e a que está em O vá para P e para Q, assim elevando toda essa lâ que está na linha OPQ, a qual, tomada em seu conjunto, é bastante pesada. Pois, estando o tubo fechado em cima, não pode entrar lâ — quero dizer, ar — por aí, no lugar do mercúrio, quando ele desce. . .



E para que não vos enganeis, não se deve acreditar que o mercúrio não possa se separar da prancha por nenhuma força, mas apenas que é necessária tanta força quanto para elevar todo o ar que está desde aí até além das nuvens (DESCARTES, *Oeuvres*, vol. I, 205-8).

A experiência imaginária que Descartes tenta explicar é análoga à da clepsidra, porém utilizando um tubo e mercúrio, ao invés de água. A experiência não pode funcionar senão se o tubo for muito fino, embaixo — caso contrário, o mercúrio fluirá e o ar entrará simultaneamente, por baixo. Vê-se que Descartes usa a idéia da pressão do ar e não o “horror ao vácuo” para explicar a retenção do mercúrio.

Há um trecho do capítulo 4 do “Le monde”, de Descartes (escrito aproximadamente em 1633), que é semelhante mas não fala sobre o peso do ar; invoca apenas a idéia de que o universo está cheio e por isso o líquido não pode se escoar sem que o ar empurrado pelo líquido ocupe o espaço que ele abandona.

Embora todos esses raciocínios de Descartes, Baliani e Rey assumissem que o ar era pesado, não existiam ainda medidas do peso (ou densidade do ar). Mersenne se interessou pelo problema e propôs muitos métodos diferentes para essas medidas — alguns deles, impraticáveis. Em 1636, em seu livro “Harmonia universal”, afirma que a água tem densidade 1870 vezes maior do que a do ar, baseando-se em dois tipos de evidências indiretas: a comparação das velocidades de queda de corpos na água e no ar; e a comparação das velocidades do som no ar e de ondas na água. Posteriormente, ele desenvolverá métodos diretos (de pesagem) que darão resultados muito diferentes: a água seria 225 vezes mais densa do que o ar (DUHEM, 1906). Mas também esses resultados são distantes do valor atualmente aceito: cerca de 770 vezes.

10 GALILEO E A FORÇA DO VÁCUO

Em 1638, Galileo publica os “Discursos sobre duas novas ciências”. Nessa obra, ele aponta um modo de medir a densidade do ar. Por meio de uma seringa, comprime o ar que é injetado dentro de um frasco. Pesa-se o frasco com o ar comprimido; deixa-se que o excesso de ar saia (sendo recolhido e seu volume medido) e pesa-se de novo. A diferença de peso é devida a esse excesso de ar, cujo volume é conhecido. Usando esse processo, Galileo afirma ter determinado que a água é 400 vezes mais densa do que o ar.

De qualquer forma, mesmo sem disporem de valores precisos, Galileo e Mersenne realizaram medidas que deram uma idéia da ordem de grandeza da densidade do ar.

No mesmo livro de Galileo, há outro trecho que é muito importante, para nosso tema. Em uma célebre passagem do *primeiro dia* dos “Discursos”, é apresentada uma discussão sobre as causas da coesão interna dos corpos e sua resistência à ruptura. Nessa passagem, é levantada a questão do horror ao vácuo como uma dessas causas de coesão.

Primeiramente, Galileo utiliza o exemplo das duas placas lisas (que já era conhecido, como vimos, por Lucretius):

Salviati. . . . A coerência destes corpos é, em minha estimativa, produzida por outras causas que podem ser agrupadas sob duas categorias. Uma é aquela muito falada repugnância que a natureza exhibe em relação ao vácuo; mas este horror ao vácuo não sendo suficiente, é necessário introduzir outra causa, na forma de uma cola ou substância viscosa que prende firmemente juntas as partes componentes do corpo. Primeiramente falarei do vácuo, demonstrando por experiências definidas a qualidade e quantidade de sua força. Se você toma duas placas lisas e altamente polidas de mármore, metal ou vidro, e as coloca face a face, elas deslizarão uma sobre a outra com a maior facilidade, mostrando conclusivamente que

nada existe de natureza viscosa entre elas. Mas quando tentar separá-las distanciando-as rapidamente, . . . você descobrirá que as placas exibem tal repugnância pela separação que a superior carrega a inferior consigo e a mantém erguida indefinidamente, mesmo quando a inferior é grande e pesada.

Este experimento mostra a aversão da natureza pelo espaço vazio, mesmo durante o breve momento exigido para que o ar exterior corra e preencha a região entre as duas placas. Também se observa que, se as duas placas não são completamente polidas, seu contato é imperfeito, de modo que, quando se tenta separá-las lentamente, a única resistência oferecida é a do peso; se, no entanto, o puxão é rápido, a placa inferior sobe, mas rapidamente cai, tendo seguido a superior apenas no intervalo de tempo muito curto exigido para a expansão da pequena quantidade de ar entre as placas, em consequência de seu não ajuste, e para a entrada do ar circundante. Esta resistência que é exibida entre as duas placas está sem dúvida presente também entre as partes de um sólido e entra, pelo menos em parte, como uma causa concomitante de sua coerência. (GALILEO, *Discorsi*, p. 34).

Após algumas outras considerações, o diálogo retorna ao tema da coesão dos materiais:

Sagredo . . . Parece-me . . . que esta própria resistência a um vácuo deveria ser suficiente para unir as partes de uma pedra ou metal ou as partes de qualquer outro sólido que tem grande coesão e que tem maior resistência à separação . . . Por que não é este vácuo que realmente existe uma causa suficiente para todos os tipos de resistência?

Salviati. Não quero entrar agora nessa discussão sobre se o vácuo sozinho é suficiente para unir as partes separadas de um corpo sólido; mas eu lhe asseguro que o vácuo que age como uma causa suficiente no caso das duas placas não é sozinho suficiente para prender juntas as partes de um cilindro sólido de mármore ou metal que, quando puxados violentamente, separam-se e dividem-se. E agora se eu encontrar um método para distinguir esta bem conhecida resistência, que depende do vácuo, de todo outro tipo que possa aumentar a coerência, e se eu lhe mostrar que a citada resistência sozinha não é de modo algum suficiente para tal efeito, você não concordará que teremos que introduzir uma outra causa? Ajude-o, Simplicio, pois ele não sabe como responder.

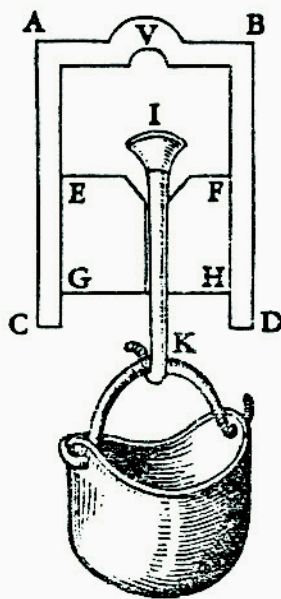
Simplicio. Certamente a hesitação de Sagredo deve ser devida a outra razão, pois não pode haver dúvida sobre uma conclusão que é ao mesmo tempo tão clara e lógica.

Sagredo. . . . Vá em frente, Salviati: assumo que eu admito sua conclusão, e mostre-nos seu método para separar a ação do vácuo de todas as outras causas; e medindo-a, mostre-nos como ela não é suficiente para produzir o efeito em questão.

Salviati. Que seu anjo de guarda o proteja. Eu lhes contarei como separar a força do vácuo de todas as outras e, depois, como medí-la. Para este propósito, consideremos uma substância contínua cujas partes não possuam qualquer resistência à separação exceto a que se deriva de um vácuo, tal como ocorre no caso da água — um fato completamente demonstrado por nosso Acadêmico (Galileu) em um de seus tratados. Se um cilindro de água for submetido a um puxão e oferecer uma resistência à separação de suas partes, isso pode ser atribuído apenas à resistência do vácuo. Inventei um dispositivo que pode ser melhor explicado por meio de um diagrama do que por meras palavras.

Seja CABD a representação da seção reta longitudinal de um cilindro de metal ou, preferivelmente, vidro, oco em seu interior e torneado de modo preciso. Nele é introduzido um cilindro de madeira que se ajusta perfeitamente, representado no corte por EGHF, capaz de um movimento para cima e para baixo. No meio desse cilindro é perfurado um orifício que recebe um fio de ferro, carregando um gancho em sua extremidade K, enquanto a parte superior do fio, I, é dotada de uma cabeça cônica. O cilindro de madeira é desgastado na parte superior de modo a receber, com encaixe perfeito, a cabeça cônica do fio IK, quando este é puxado para baixo pela extremidade K.

Agora insira o cilindro de madeira EH no cilindro oco AD, de modo a tocar a parte



superior do último, mas deixar livre um espaço de uma ou duas polegadas; este espaço deve ser preenchido com água, mantendo o recipiente com a boca CD para cima, empurrando para baixo a bucha de madeira EH e ao mesmo tempo mantendo a cabeça cônica do fio, I, afastada da porção oca do cilindro de madeira. O ar assim pode escapar ao longo do fio de ferro (que não é perfeitamente ajustado) quando se pressiona para baixo a bucha de madeira. Tendo o ar escapado e sendo o fio de ferro trazido de volta de modo a ajustar-se completamente contra a depressão cônica da madeira, inverta o recipiente, colocando sua boca para baixo e pendure no gancho K um recipiente que pode ser enchido com areia ou qualquer material pesado, em quantidade suficiente para finalmente separar a superfície superior do cilindro de madeira, EF, da superfície inferior da água, à qual estava preso apenas pela resistência do vácuo. Em seguida, pese o cilindro de madeira e o fio junto com o recipiente que fora preso ao gancho e seu conteúdo; teremos então a força do vácuo. Se prendermos a um cilindro de mármore ou vidro um peso que, juntamente com o peso do próprio mármore ou vidro, é exatamente igual à soma dos pesos antes mencionados, e se ocorrer a quebra (do cilindro de mármore ou vidro), estaremos justificados ao dizer que apenas o vácuo segura as partes do mármore e vidro; mas se este peso não é suficiente e se a quebra só ocorre após a adição de, digamos, o quádruplo deste peso, diremos então que o vácuo só fornece um quinto da resistência total.

Simplicio coloca dúvidas sobre a experiência, dizendo que talvez entre ar no dispositivo, ou a água se dilate e por isso o cilindro de madeira caia. Salviati responde que, neste último caso, ver-se-ia o cilindro de madeira descer gradualmente, o que não ocorre; e que qualquer ar que entrasse iria naturalmente para a escavação V na parte superior do cilindro de vidro, e poderia ser observado; e isso também não ocorre. É claro que, apesar da apresentação realista, deve tratar-se de um experimento imaginário. De qualquer forma, a idéia do experimento é muito interessante e mostra que Galileu admitia a existência de uma certa resistência à formação do vácuo; mas supunha que essa resistência era finita, mensurável; e que, portanto, o vácuo podia ser formado por uma força finita. Como o experimento provavelmente nunca foi feito, isso era, na verdade, apenas uma *suposição* e não uma demonstração da possibilidade do vácuo. Galileu poderia argumentar que, como a resistência dos sólidos à tração é finita e como essa resistência é igual ou superior à resistência do vácuo, esta é também finita. Mas, no caso da ruptura dos sólidos, o vácuo formado é infinitesimal e preenchido quase instantaneamente; um peripatético poderia aceitar a força finita, no caso do sólido, mas alegar no caso do experimento da água que a força teria que ser infinita, pois poderia ser formado um vácuo finito e duradouro.

Na constituição do diálogo, Galileu apresenta o fato experimental que provavelmente originou esse experimento imaginário:

Sagredo. Graças a esta discussão, aprendi a causa de um certo efeito que me maravilhou por muito tempo e que eu havia desesperado de compreender. Vi uma vez um poço que estava

provido de uma bomba . . . que tinha seu aspirador e válvula na parte superior, de modo que a água era erguida por atração e não por um empurrão . . . em sua parte superior. Esta bomba funcionava perfeitamente enquanto a água do poço estava acima de um certo nível; mas abaixo desse nível a bomba já não funcionava. Quando notei pela primeira vez o fenômeno, pensei que a máquina estava desarranjada; mas o artesão que chamei para repará-la contou-me que o defeito não estava na bomba mas na água, que tinha descido tanto que não podia ser erguida a tal altura; e adicionou que não era possível, por uma bomba ou qualquer outra máquina que funcionasse com o princípio de atração, elevar a água um fio de cabelo acima de dezoito cúbitos [cerca de dez metros]; fosse a bomba grande ou pequena, esse é o limite extremo do bombeamento.

Até agora fui tão néscio que, embora sabendo que uma corda, ou cilindro de madeira ou ferro, se suficientemente longo, quebrar-se-á por seu próprio peso quando suspenso por sua extremidade superior, nunca me ocorreu que o mesmo ocorreria, muito mais facilmente, com uma coluna de água. E realmente o que é atraído pela bomba não é uma coluna de água atada em seu extremo superior e esticada mais e mais até que se alcança um ponto em que se quebra, como uma corda, por seu próprio peso excessivo?

Salviati. Isto é precisamente o que ocorre; esta elevação fixa de dezoito cúbitos é verdadeira para qualquer quantidade de água, seja a bomba grande ou pequena, ou mesmo tão fina quanto uma palha . . . (GALILEO, *Discorsi*, p. 36).

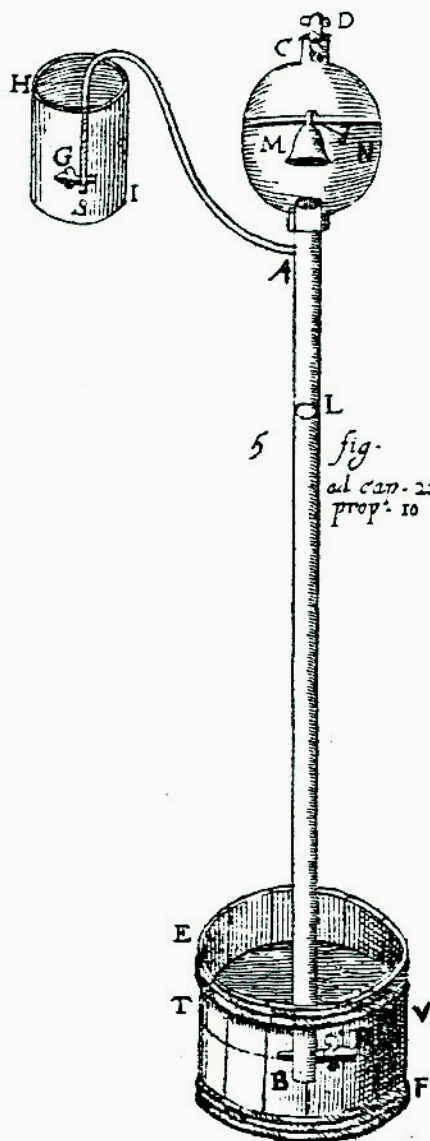
Aqui, Galileo apresenta o mesmo raciocínio que, oito anos antes, apresentara a Baliani. Não há nenhuma menção ao peso do ar e à sua pressão. Apenas a idéia de um horror ao vácuo limitado. Baliani não havia convencido Galileo.

11 O EXPERIMENTO DA COLUNA DE ÁGUA, DE BERTI

Foi, aparentemente, o livro de Galileo que estimulou a realização de outros experimentos sobre o vácuo. Um grupo de pessoas, em Roma, após ler os "Discorsi", tendo também, aparentemente, conhecimento do experimento do sifão de Baliani, elaborou um interessante dispositivo. Uma dessas pessoas, Raffaello Magiotti, parece ter sido o idealizador e Gasparo Bertoni o realizador do experimento (ver WAARD, *L'expérience barométrique*, pp. 101-10). Outras pessoas que presenciaram a realização foram os padres Athanasius Kircher e (provavelmente) Nicolò Zucchi. Há quatro descrições desse importante experimento: por Magiotti, Zicchi, Kircher e também por Maignan (que não estava presente). A data de sua realização é incerta: talvez 1641. Certamente, no entanto, precedeu a célebre experiência de Torricelli.

Emmanuel Maignan conta, em um livro publicado dez anos depois, que Gasparo Bertoni, seu amigo, lhe descrevera com detalhe o experimento, poucos dias depois de sua realização. Relata então essa descrição:

Este distinto Gasparo, de quem falei, ergueu um tubo de chumbo AB bastante longo fora da torre de sua casa, na parede onde estão as escadas, prendendo-o por meio de cordas amarradas a cravos de ferro. Sou obrigado a dizer que não me lembro exatamente de seu comprimento, mas sei que deve ter sido mais (apenas um pouco mais) do que quarenta palmos. A extremidade superior A do tubo estava defronte a uma das janelas da torre e a inferior B estava próxima ao solo; era provida de uma torneira R de latão, que estava dentro do tonel EF propositalmente cheio de água. Na extremidade superior A era adaptado e cuidadosamente unido e colado um recipiente de vidro em forma de um frasco, bastante grande mas



muito sólido, possuindo dois gargalos e bocas, a mais larga embaixo — na qual era inserido o extremo A do tubo, como em um encaixe; a mais estreita, em C, de chumbo ou estanho, como é usual, era bem feita, de modo que se lhe adaptava bem a haste do parafuso de latão D, sendo este o mais sólido tipo de rolha e o mais adequado para o assunto em questão.

Estando isso pronto, com a torneira R fechada e o tonel EF cheio com água até aproximadamente a metade, o tubo todo, assim como o recipiente de vidro, eram enchidos por cima, através da abertura C, bem no topo. Então, a abertura C era fechada com o parafuso D, para selar todo o aparelho.

Maignan descreve que, ao se apertar o parafuso D, o frasco do aparelho se rompeu, sendo preciso montar novo aparelho. Da segunda vez, foram tomados cuidados para não comprimir muito a água com o parafuso.

Por fim, quando a torneira R foi aberta, a água fluiu (contrariamente à esperança de muitos) do tubo para o tonel EF, até (enchê-lo) a uma altura facilmente observável; mas nem toda ela fluiu e logo ficou parada. Isso era claro, pois foi feita uma marca no tonel na superfície da água e no dia seguinte se descobriu que a água nela havia permanecido exatamente na marca, embora a torneira R permanecesse aberta todo o tempo. Então, depois que esta torneira R foi novamente fechada cuidadosamente, o parafuso D foi tirado de cima. E logo que ele foi retirado o ar entrou com grande ruído, preenchendo o espaço antes abandonado pela água. Então, descendo um fio, determinou-se quanta água havia dentro, ou melhor, a que altura a água havia permanecido no tubo. Descobriu-se que ela ficara a cerca de 18 cúbitos acima do nível da água no tonel, na marca L. (MAIGNAN, *Cursus philosophicus*, apud MIDDLETON, *The history of the barometer*, pp. 11-2).

Em seguida, foi feita uma engenhosa modificação do aparelho, a fim de investigar se a sua parte superior ficava vazia ou não.

Em outro dia, o experimento foi tentado de uma forma diferente. O tubo maior, já mencionado, foi perfurado lateralmente perto de A e um tubo de chumbo curvo AS, provido de uma torneira G, foi unido e soldado a ele com estanho. Quando tudo estava pronto, a água foi derramada em C, como antes. O parafuso D foi colocado e a boca S do tubo, com sua torneira G, foi dobrada para dentro de um recipiente HI cheio de água, colocado mais alto do que a janela, de tal forma que obviamente nenhum ar externo pudesse entrar através da torneira G quando a água — como vou relatar — desceu e fluiu pela torneira R. Pois, quando esta foi aberta, a água se escoou como antes até a marca L, como se percebeu pela altura da marca feita anteriormente no tonel EF. Em seguida, a torneira R foi fechada e a torneira G aberta. Então, o pequeno tubo sugou a água que foi fornecida continuamente ao recipiente HI, até que por fim todo o espaço foi enchido: o tubo, acima de L, o frasco e o pequeno tubo — exceto pelo aparecimento de uma bolha de ar de certo tamanho sob a boca C.

Realmente, o espaço ocupado por essa bolha, que alguns pensaram ser um vácuo, estava realmente cheio de ar. Pois o tubo AS e o recipiente HI foram erguidos um pouco de modo que a água no último estava de A, para o frasco, preenchendo-o completamente, já que antes parecia que não poderia sugá-la. Mas não foi possível passar mais água e portanto é certo que o pequeno espaço mencionado, abaixo de C, não era um vácuo, mas sim um pleno — uma bolha de ar ou, como alguns preferiram pensar, de éter.

Mas as opiniões variaram sobre de onde esse ar ou éter teria vindo e se ele, sozinho, rarefeito, preenchia o espaço que a água havia abandonado. Pois alguns diziam que essa pequena porção de ar havia entrado pelos poros do vidro ou do chumbo, enquanto outros preferiram que tivesse sido retirada da água e então se expandido para preencher todo o frasco e o tubo, até L. E que ele não podia se expandir e rarefazer mais e que por isso a água ficou suspensa nessa marca L por alguma força coesiva do ar, de modo que nem descia nem flutuava mais. (Maignan, *Cursus philosophicus*, apud MIDDLETON, *The history of the barometer*, pp. 12-3).

Mais adiante, Maignan descreve que, para decidir se o espaço vazio era um vácuo ou não, foi introduzido no recipiente de vidro um sino com badalo de ferro. Após a descida da água, o badalo era atraído por um ímã e depois solto, batendo no sino. Se houvesse vácuo, não se poderia ouvir o som do sino, pois o som só pode se propagar na matéria, por vibrações (como já se sabia). Quando o experimento foi feito, o sino foi ouvido; mas Maignan explica esse resultado supondo que as vibrações se propagaram do sino para o vidro e não através do vácuo.

Em muitos aspectos, o experimento de Berti antecipa o de Torricelli. Não se sabe, no entanto, se alguém, na época, o interpretou relacionando a altura da coluna de água à pressão atmosférica.

Até que ponto esse experimento se tornou conhecido, na época? Não se sabe. Há, porém, uma indicação muito importante de que Torricelli a conhecia. A evidência é uma carta de Magiotti a Mersenne, datada de 25 de maio de 1648, na qual ele descreve o experimento e afirma que escreveu, na época, uma carta a Torricelli sobre o mesmo, com a sugestão de que utilizando-se água do mar o nível teria sido mais baixo. E conclui: "Eles fizeram tentativas e finalmente chegaram ao uso de mercúrio" (MIDDLETON, 1963, p. 17). Ou seja: para Magiotti, o experimento de Torricelli é uma decorrência direta do de Berti.

12 VIVIANI E TORRICELLI

A idéia básica da "experiência de Torricelli" é bem conhecida e descrita em livros-
Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 2, 1 (n. esp.): 9-48, jan./dez. 1989.

texto elementares. Toma-se um tubo de vidro, fechado em uma extremidade, com cerca de um metro de comprimento; enche-se o tubo com mercúrio; tampando-o com o dedo, ele é então invertido; coloca-se a boca do tubo dentro de uma cuba com mercúrio e tira-se o dedo. O mercúrio desce, oscila e depois pára a uma altura de cerca de 76 cm de altura, deixando um espaço vazio no topo.

Essencialmente, o experimento é uma adaptação do de Berti, utilizando-se mercúrio no lugar da água, o que permite maior facilidade de manipulação.

De acordo com Carlo Dati, discípulo de Torricelli, o experimento não foi realizado por ele e sim por Viviani (MIDDLETON, 1963, p.19). É possível que a própria idéia de utilizar mercúrio, ao invés de água, tivesse sido de Viviani ou de Galileo. De fato, Albieri, um dos editores das obras de Galileo (no século XIX) notou que, em um exemplar dos "Discorsi" (1638) encontrado entre os papéis de Florença, havia muitas correções e adições do rodapé com a letra de Viviani. Exatamente na página em que é discutida a limitação das bombas de sucção e a altura máxima atingida pela água, há uma nota que diz:

E acredito que o mesmo resultado ocorreria em outros líquidos, tais como mercúrio, vinho, óleo, etc, nos quais a ruptura ocorrerá a uma altura menor ou maior do que 18 cúbitos, de acordo e inversamente com a maior ou menor gravidade específica desses líquidos em relação à da água; sempre medindo essas alturas perpendicularmente, no entanto (*apud* MIDDLETON, 1963, pp. 17-9).

Essa anotação pode ter sido ditada por Galileo (já cego) a Viviani ou ser do próprio Viviani. Adicionada ao conhecimento do experimento de Berti, torna-se fácil chegar ao "experimento de Torricelli".

Não vamos descrever em detalhe, aqui, a contribuição de Torricelli. Isso será feito no *Apêndice 1* do presente volume, onde se apresenta uma tradução comentada da descrição fornecida pelo próprio Torricelli. Discutiremos aqui apenas dois pontos: qual a contribuição *nova* desse experimento? E qual a data de sua realização?

A carta de Torricelli a Ricci, descrevendo o experimento, é datada de 11 de junho de 1644. A data comumente indicada, nos livros-texto e artigos históricos, é 1643, seguindo a versão divulgada pela Accademia del Cimento em 1667. Parece pouco provável que o experimento tivesse sido realizado muito antes da redação da carta e o ano de 1644 é, por isso, mais plausível.

O que o trabalho de Torricelli (ou Viviani) adiciona ao que já se sabia? Por um lado, ele mostra que, como previsto na observação de Viviani, a altura da coluna de mercúrio é muito menor do que a de água, na proporção inversa de suas densidades. Em segundo lugar, o aparelho usado por Torricelli é mais simples, torna tudo visível (no de Berti, os tubos eram de chumbo), pode ser feito dentro de casa, com maior facilidade — o que o popularizou — e permite eliminar dúvidas que permaneciam no experimento de Berti: Torricelli inclina o tubo e vê que o mercúrio sobe, preenchendo todo o tubo, sem ficarem bolhas de ar; varia o aparelho e observa que a altura do mercúrio não depende do volume vazio acima dele; etc. Mas o mais importante de tudo é que Torricelli defende a interpretação moderna: a de que esses efeitos são produzidos pela pressão da atmosfera. De modo nenhum Torricelli prova ou estabelece que essa é a verdadeira

causa; mas dá alguns bons argumentos e — o que é mais importante — desencadeia uma enorme quantidade de estudos, experimentos e discussões que acabarão levando à nossa concepção moderna.

13 DE TORRICELLI A PASCAL

Os italianos não fizeram ampla divulgação de todos esses estudos sobre o vácuo. Talvez pesasse sobre eles a sombra da Inquisição: não seria perigoso desafiar um mistério da natureza? No entanto, as cartas de Torricelli a Ricci logo se difundem. Um francês que estava em Roma em 1644, François du Verdus, parece ter sido quem, visitando Ricci, copiou trechos das cartas de Torricelli e as enviou para o padre Jean-François Nicéron; este passou a carta a Mersenne, provavelmente em julho de 1644 (TATON, 1963). Pouco tempo depois, Mersenne viaja para a Itália (dezembro de 1644 a março de 1645). Em Roma e em Florença, Mersenne teve contato direto com as pessoas que participaram desses experimentos. Em Roma, encontra Margiotti, Baliani, os padres Kircher, Maignan e Nicéron, e Ricci. Berti já havia falecido. É possível que tenha sido ele quem sugeriu a colocação do sino no aparelho de Berti, pois já havia pensado no problema da propagação dos sons no vácuo (LENOBLE, *Mersenne*, pp. 429-31). É informado de que é possível ouvir-se o sino colocado no espaço aparentemente vazio; e também de que pequenos animais eram capazes de sobreviver nesse espaço. Depois, em Florença, Torricelli refaz a sua experiência diante do padre, informando que também na experiência do mercúrio pequenos insetos podiam sobreviver no espaço vazio. Isso fazia pensar que ainda permanecia ar dentro do tubo.

Retornando a Paris, Mersenne divulga os novos conhecimentos, informando Deschamps, Roberval e Pierre Petit, entre outros. Aparentemente, Descartes não foi informado. Mersenne tenta reproduzir o experimento de Torricelli, sem sucesso. Faltavam-lhe bons tubos de vidro. Algum tempo depois, Petit e Roberval terão sucesso. E, o que é mais importante, para nós: Petit irá fazer o experimento em Rouen, em 1646, na companhia do pai de Pascal, com a presença do jovem Blaise Pascal. A descrição de Petit, em uma carta datada do mesmo ano, está contida do *Apêndice 2* deste volume.

É aqui, portanto, que Blaise Pascal entra em nossa história. Estimulado pelo importante experimento, Pascal passa a se dedicar intensamente à questão do vácuo, escrevendo e fazendo novos experimentos. São esses trabalhos que estão traduzidos na segunda parte deste volume.

Vamos descrever agora, de forma um pouco esquemática, os episódios relativos ao estudo do vácuo e da pressão atmosférica em três anos cruciais, nos quais se deu a principal contribuição de Pascal: 1646 a 1648. Há grande número de estudos sobre esse período, focalizando o papel de Pascal e discutindo até que ponto sua contribuição foi importante. Alguns deles serão citados mais adiante. No entanto, é relevante desde agora apontar os trabalhos de Félix Mathieu, no início do nosso século, que revolucionaram os estudos sobre o papel científico de Pascal (MATHIEU, artigos de 1906 e 1907). A tese central de Mathieu é a de que Pascal falsificava documentos, procurando atrair a atenção para suas contribuições e não dando o devido crédito às pesquisas de outros autores. Os trabalhos de Mathieu eram surpreendentes mas muito bem documentados, demonstrando espantosa erudição. À publicação dos seus primeiros artigos seguiu-se

uma acalorada controvérsia, na qual se envolveram os mais importantes historiadores franceses. Foram levantados novos documentos e examinou-se com grande detalhe o período 1646 e 1648. O maior contra-ataque a Mathieu deveu-se a Léon Brunschvicg e Pierre Boutroux, os editores da segunda edição das *Obras* de Pascal, que levantaram grande número de documentos (anexados em sua edição das *Obras*) e tentaram derrubar, ponto por ponto, as acusações de Mathieu a Pascal. Quem venceu? Uma cuidadosa e bastante neutra avaliação (REY, 1906; THIRION, 1909) pareceu indicar que uma boa parte das alegações de Mathieu contra Pascal não foi abalada. Mas não vamos nós também entrar nesse debate. Os interessados poderão consultar os trabalhos relevantes (para uma bibliografia dessa discussão, ver: MAIRE, *L'Oeuvre de Pascal: bibliographie*, pp. 110-2; THIRION, 1908, pp. 248-51; BRUNSCHVICG, in *Oeuvres de Pascal*, vol. I, pp. XXXLVIII).

Vamos então passar à sequência histórica.

14 OS EXPERIMENTOS DE ROUEN

Em outubro de 1646, Pascal presencia a repetição do experimento de Torricelli, por seu pai Étienne e Pierre Petit (ver *Apêndice 2*). Excitado por esse experimento, Pascal realiza vários outros, em sua cidade (Rouen), do final de 1646 a meados de 1647 (sem nada publicar, no entanto). Em uma carta datada de 1651, endereçada a de Ribeyre (PASCAL, *Oeuvres*, vol. 2, pp. 478-95), o próprio Pascal afirma que realizou esses novos experimentos “na presença de mais de quinhentas pessoas de todos os tipos, incluindo cinco ou seis padres jesuítas do Colégio de Rouen” (ibidem, p. 482-3). Tratava-se, portanto, de exibições públicas, que chamaram grande atenção e tiveram ampla divulgação informal, na França.

É provavelmente no início de 1647 que Pascal realiza uma grande reprodução do experimento de Torricelli, utilizando em tubo de 13 m de altura, enchendo-o de vinho (experimento descrito posteriormente por Pascal, no texto “Novas experiências sobre o vácuo”). Em maio de 1647, Pascal viaja para Paris e interrompe essas exibições. Não se sabe, ao certo, se Pascal de fato fez todos os experimentos que descreve. Há bons motivos para se ter dúvidas disso (ver KOYRÉ, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, pp. 382-5).

Antes que se publicasse qualquer notícia sobre esses experimentos, foi editado um opúsculo, na Polônia, de autoria do padre capuchinho Valeriano Magni. Este padre italiano havia realizado um experimento em tudo semelhante ao de Torricelli, com mercúrio, publicando em Varsóvia, em julho de 1647, um opúsculo onde o descrevia e defendia a existência de um vácuo na parte superior do tubo. No entanto, Magni apresentava o experimento como de sua própria invenção, citando Galileu como seu inspirador. Seu título era: “Demonstração ocular de um lugar vazio; de movimento corporal sucessivo no vácuo; de luz fora de qualquer corpo” (*Demonstratio ocularis loci sine locato: corporis successive moti in vacuo: luminis nulli corpori inhaerentis*). Esse título era provocativo, desafiando abertamente três teses aristotélicas.

Enquanto a obra de Magni não era conhecida na França, o médico Pierre Guiffart, de Rouen, que assistira os experimentos de Pascal, publicou em 29 de agosto de 1647, um “Discurso sobre o vácuo, sobre as experiências do Sr. Paschal e o Tratado do Sr.



Pierius" (*Discours de vuide sur les expériences de M. Paschal et le Traité de M. Pierius*). Inspirando-se não só nos experimentos mas também, provavelmente, nas interpretações de Pascal, Guiffart defende a existência de um vácuo no tubo barométrico e ataca Jacques Pierius, outro médico, professor de filosofia do Colégio de Rouen. Esse Pierius, que também participara das demonstrações públicas de Pascal, nelas defendera a posição aristotélica, escrevendo um opúsculo, em latim, defendendo a teoria peripatética do pleno (*An detur vacuum in rerum natura*). Essa dissertação, com adições, foi publicada no ano seguinte (1648).

O trabalho de Guiffart não explica o fenômeno barométrico pela pressão atmosférica e sim utilizando a idéia de um horror limitado ao vácuo (como Galileo). Aparentemente, Pascal também não defendia, nessa época, a idéia da pressão atmosférica.

15 ROBERVAL E A DILATAÇÃO DO AR

Em Agosto de 1647, Mersenne, em Paris, recebe uma cópia do opúsculo do padre Valeriano Magni, que lhe foi enviado por Pierre Des Noyers, da Polônia. Informado por Mersenne, Roberval escreve a Des Noyers em 20 de setembro de 1647 (texto reproduzido em: PASCAL, *Oeuvres*, vol. 2, pp. 21-35), criticando Magni por não dar o devido crédito a Torricelli. Informa também a Des Noyers que o experimento de Torricelli havia já sido reproduzido com sucesso em Rouen e informa sobre os trabalhos de Pascal. Além disso, Roberval descreve suas próprias investigações. Ele descreve que a altura do mercúrio no tubo é sempre de 2 pés e 7/24 de pé, mesmo quando são usados tubos de diferentes tamanhos e formas. Em um caso, descreve um tubo com uma dilatação na sua parte superior, capaz de conter 18 libras de mercúrio; mesmo nesse caso, o tamanho do espaço vazio não influi na altura da coluna de mercúrio. Ele especula que a parte superior do tubo pode estar vazia ou cheia de um ar muito rarefeito e supõe que esse relativo vazio *atrai* o mercúrio para cima e o impede de cair. Esse "puxão" do vácuo era *sentido* tampando o tubo com o dedo e invertendo-o, de modo que o dedo ficasse em contato com o espaço vazio.

Note-se que, nessa época, não se imaginava que o ar (e outros gases) pudesse se dilatar indefinidamente, como atualmente aceitamos. Parecia que ele era dilatável (e compressível) apenas até certo limite, como uma esponja. Além disso, supunha-se que, para dilatá-lo, era preciso distendê-lo, como no caso de uma mola. A concepção de Roberval era, portanto, bastante adequada para a época. Além disso, ele mostrava, introduzindo bolhas de ar no barômetro, que elas se dilatavam muito enquanto subiam no mercúrio. Isso indicava, por um lado, que o ar *podia* se dilatar bastante; e, por outro lado, parecia indicar que alguma força (externa à bolha) a esticava e dilatava. Além disso, aumentando a quantidade de ar sobre o mercúrio, este descia um pouco. Tampando e invertendo o tubo, Roberval sentia um menor "puxão" em seu dedo.

Após receber a carta de Roberval, Valeriano Magni afirma jamais ter ouvido falar de Torricelli, de Ricci ou de qualquer experiência anterior à sua. Parece sincero, e publica, em 5 de novembro de 1647, um novo opúsculo, dedicado a Roberval, esclarecendo toda a questão.

Nesse período, Pascal está vivendo em Paris (desde maio de 1647), bastante doente.

Ele mantém estreito contato com Roberval. Se suas idéias não são idênticas, devem ser, pelo menos, semelhantes, nessa época.

16 DESCARTES E PASCAL

Em setembro de 1647, logo após a chegada do primeiro opúsculo de Valeriano Magni, Descartes visita Paris. Encontra-se com Mersenne, que refaz diante dele os experimentos com mercúrio, contando-lhe também sobre os de Rouen. Descartes manifesta vontade de encontrar Pascal. Eles se encontram, efetivamente, nos dias 23 e 24 de setembro, durante cerca de duas horas, em cada dia.

Muito já se discutiu e escreveu sobre esse encontro (além dos artigos já citados, ver: NOURRISSON, 1881; ADAM, 1887 e 1888). Não há dúvidas de que ele foi muito importante, para Pascal. Mas não se sabe, em detalhes, o que ocorreu. Há uma carta de uma das irmãs de Pascal (Jacqueline) a outra irmã (Gilberte, esposa de Périer), datada de 25 de setembro de 1647 (PASCAL, *Oeuvres*, vol. 2, pp. 42-8). Segundo esta carta, Descartes visitou Pascal acompanhado por vários amigos (Hardy, Martigny e outros). Pascal avisou a seu amigo, Roberval, sobre o encontro, pedindo sua presença. Aparentemente, Pascal, advertido por Roberval (adversário de Descartes), previa algum tipo de confronto. Pois ele próprio, como Roberval, acreditava que a parte superior do tubo de Torricelli era vazia e sabia que Descartes negava a possibilidade do vazio. Pascal, era, acima de tudo, nessa época, um experimentador; e via em Descartes um puro metafísico, preocupado com teses *a priori* e sem se importar com os fatos. Como se vê pelos escritos de Pascal, ele jamais se aprofunda nos problemas metafísicos do vácuo; apenas mostra um espaço aparentemente vazio e desafia todos a mostrarem o que está nele, se não estiver realmente vazio.

De acordo com a carta de Jacqueline, a conversa recai sobre os experimentos relativos ao vácuo e Descartes defende sua idéia de que o espaço aparentemente vazio está repleto de matéria sutil (éter). Há uma alteração entre Roberval e Descartes, a qual, de acordo com a carta, prossegue mesmo depois que eles saem, juntos, do encontro com Pascal. Sabe-se também, pela mesma fonte, que Descartes defendia a pressão do ar como a causa dos efeitos que Roberval atribuía à atração ou ao horror ao vazio.

Há no entanto dois pontos obscuros sobre esse encontro: (1) qual a explicação que Pascal dava aos fenômenos? E (2) teria Descartes sugerido a Pascal um novo tipo de experimento? Vamos discutir esses dois pontos.

Na sua primeira publicação sobre o vácuo (que é pouco posterior a esse encontro), Pascal em nenhum ponto se refere à pressão do ar. Pode-se supor que ele não aceitasse essa explicação; ou pode-se supor que ele não queria *ainda* defendê-la, mas já a aceitava. Não há documentos que permitam esclarecer a questão. Porém, parece plausível que Pascal concordasse com Roberval — caso contrário, por que o convidaria para ajudá-lo a enfrentar Descartes? Parece razoável supor, assim, que Pascal admitia que o vácuo produzia uma atração ou puxão, de mecanismo desconhecido.

Por outro lado, sabe-se que, alguns meses depois, o cunhado de Pascal (Périer) vai executar, a seu pedido, um experimento “decisivo” a favor da influência da pressão do ar: ele realizará o experimento de Pascal na base e no topo do Puy-de-Dôme, verifi-

cando que a altura da coluna de mercúrio é menor no alto da montanha. Alguns historiadores supõem que foi Descartes quem lhe sugeriu esse experimento, como um modo de diferenciar entre a explicação pela atração do vácuo e pela pressão atmosférica. Baillet, biógrafo de Descartes, foi um dos primeiros a fazer essa alegação (ver ADAM, 1887 e NOURRISSON, 1881), baseando-se em uma carta de Descartes a Mersenne, de 13 de dezembro de 1647. Nessa carta, lê-se muito claramente:

Eu havia advertido o sr. Pascal a experimentar se o mercúrio subiria à mesma altura quando se está acima de uma montanha e quando se está em sua parte de baixo; não sei se ele o terá feito (DESCARTES, in: PASCAL, *Oeuvres*, vol. 2, p. 165).

Em outras cartas posteriores, Descartes reclama, igualmente, não haver recebido de Pascal nenhuma informação sobre o experimento do Puy-de-Dôme, apesar de ter sido ele (Descartes) quem o havia sugerido. No entanto, em 1651, na já citada carta a Ribeyre, Pascal afirma:

É verdadeiro, Senhor, e eu vo-lo digo audazmente, que essa experiência é de minha invenção; e, portanto, posso dizer que o novo conhecimento que ela nos abriu é completamente meu (PASCAL, *Oeuvres*, col. 2, p. 494).

Ou Descartes ou Pascal — um dos dois está enganado. É difícil saber quem está mentindo. Mas deixemos essa questão de lado.

17 MERSENNE E O EXPERIMENTO DA MONTANHA

Em outubro de 1647, logo após seus encontros com Descartes, Pascal enfim imprime um primeiro opúsculo sobre seus experimentos: "Novas experiências sobre o vácuo" (ver tradução neste volume). Nessa pequena obra, Pascal descreve de modo bastante direto e resumido seus experimentos de Rouen e defende a idéia de que o espaço acima do mercúrio, no experimento de Torricelli, é realmente um vácuo; e que o "horror ao vácuo" tem um poder limitado e mensurável.

Poucos dias após a publicação dessa obra, Pascal recebe uma carta do padre Noël, criticando suas conclusões e defendendo uma visão semelhante à de Descartes (ver "Cartas do padre Noël e respostas de Pascal", neste volume).

No mesmo mês de outubro de 1647, o padre Mersenne publica uma obra, "Reflexões físico-matemáticas" (*Cogitata physico-mathematica*). Nela, aparece uma nova medida da densidade do ar (que Mersenne, agora, conclui ser mil vezes menos denso do que a água) e a explicação do experimento de Torricelli pelo peso da atmosfera. Além disso, no Prefácio escrito no final de setembro, Mersenne escreve:

Se o cilindro de ar é a causa do vazio contido no tubo, ou da suspensão do mercúrio, ao qual equilibra, parece que esse cilindro de ar será mais curto e, portanto, que o cilindro de mercúrio será de menor altura, quando observado no alto de uma torre ou de uma montanha. Por exemplo: as janelas da cúpula de São Pedro estão pelo menos 50 toesas (cerca de 100m) acima do solo; se a altura do cilindro de ar fosse apenas uma légua de 2.500 toesas, o cilindro seria menor de 1/50 de seu comprimento quando observado de perto dessas janelas ao invés de observado no Confessionário de São Pedro.

Mas mostramos na página 204 que o cilindro de ar deve ter pelo menos duas léguas de altura [cerca de 10.000m] ; daí, na experiência precedente, diminuiria apenas a centésima parte e o cilindro de mercúrio, também diminuiria somente um centésimo de seu comprimento; uma tal diminuição, que seria menor do que 1/50 de pé ou do que 1/4 de linha [cerca de 0,5 mm], seria apenas sensível.

Se fizéssemos a experiência, pelo contrário, no topo de uma montanha com altura de uma légua, o cilindro de mercúrio deveria medir apenas um pé e meia polegada. Se isso não ocorresse, dever-se-ia concluir daí que o cilindro de ar não é a explicação desse vazio — a menos, no entanto, que se suponha que a superfície superior do ar não é esférica e que ela se eleva mais ou menos de acordo com o relevo do solo (MERSENNE, *apud* DUHEM, 1906b, p. 814).

Esta é a primeira *publicação* de uma proposta correspondente ao experimento do Puy-de-Dôme — e que tem a vantagem de fazer uma previsão *quantitativa* do efeito, a partir da medida da densidade do ar. Note-se que Mersenne não pensa que a densidade do ar varia significativamente com a altura e imagina que a atmosfera tem uma altura bem definida (como, aliás, costumam pensar também os estudantes de nossa época).

Mersenne não nos informa se a proposta do experimento é sua ou não. Duhem pensa que Mersenne o imaginou. Mathieu pensa que Mersenne está apenas reproduzindo a proposta de Descartes, que poucos dias antes da redação desse Prefácio estivera discutindo com Mersenne sobre a pressão atmosférica. A favor de Mathieu deve pesar a carta (já citada) que Descartes escreve ao próprio Mersenne, dois meses depois, alegando ser o pai da idéia.

Por outro lado, é decepcionante verificar que, alguns parágrafos mais adiante, o mesmo Mersenne diz:

Por outro lado, inclino-me a pensar que sempre se encontrará a mesma altura para esses cilindros de mercúrio. Isso poderia provir de que as mudanças de altitude não produzam um efeito perceptível porque a altura do ar é muito grande; é o que ocorreria, por exemplo, se os limites da atmosfera ultrapassassem a Lua. Isso poderia provir igualmente de outras causas desconhecidas por nós, ou porque a coluna de ar não é a causa do fenômeno. Então, estaríamos novamente diante de um enigma (MERSENNE, *apud* DUHEM, 1906b, p. 815).

Mersenne não havia ainda adotado uma opinião final e não tinha muita certeza de que valia a pena fazer o teste: talvez ele fosse inconclusivo. Em um segundo prefácio da mesma obra, escrito logo depois, Mersenne defende as idéias de Roberval sobre a atração do vácuo e inclui Pascal entre os que partilham de sua opinião (THIRRION, 1907, p. 412).

Mersenne pede a opinião de todas as pessoas sobre o assunto. Escreve a Baliani, que lhe responde em 25 de novembro de 1647 defendendo a explicação pelo peso do ar e afirmando que a densidade do ar deve ir diminuindo com a altitude (GOVI, 1867, p. 573).

Muitos outros eventos ocorrem nesse mês de novembro. O padre Noël publica um livro contra os defensores do vácuo — “O pleno do vazio” (*Le plein du vide*) que ataca frontalmente Valeriano Magni mas que Pascal interpreta como um ataque pessoal contra si (ver “Carta de Pascal ao Senhor Le Pailleur”, neste volume).

No mesmo mês, é publicada a carta de Petit (apêndice 2 deste volume), provavelmente por iniciativa de Pascal (que foi quem forneceu a cópia da carta ao editor).

Cad. Hist. Fil. Cl., Campinas, Série 2, 1 (n. esp.): 9-48, jan./dez. 1989.

O objetivo dessa publicação foi, é claro, defender a prioridade de Pascal em relação a Valeriano Magni e outros experimentadores.

É também de novembro de 1647 que data uma carta de Pascal a seu cunhado Périer, pedindo-lhe para executar o experimento do Puy-de-Dôme (traduzida neste volume). No entanto, Félix Mathieu apresentou bons motivos para se duvidar que a carta seja autêntica. Segundo Mathieu, trata-se de uma falsificação posterior, do próprio Pascal, destinada a estabelecer a prioridade da idéia. (ver MATHIEU, artigos de 1906 e 1907).

18 A ELASTICIDADE DO AR – EXPERIMENTO DA BEXIGA DE PEIXE

Mas o grande evento científico desse agitado mês de novembro de 1647 foi um novo experimento realizado por Roberval. Toma-se uma bexiga de carpa, vazia e seca; espreme-se para fora o ar que ela contém e se amarra sua boca. Colocando-a então no topo de um tubo com o qual se realiza o experimento de Torricelli, observa-se que, quando o mercúrio desce, a bexiga incha, como se houvessem soprado ar em seu interior. A interpretação, para nós, é simples: o pouco ar que sempre restará dentro da bexiga se expande, pois a pressão fora da bexiga é nula (ou muito pequena) e isso faz a bexiga parecer cheia. No entanto, como já foi dito antes, não se sabia, nessa época, que o ar podia se dilatar indefinidamente, nem que ele possuía uma força expansiva — mesmo quando muito dilatado. O resultado do experimento surpreendeu a todos — inclusive Roberval. Ele mostrava, de forma visível, que uma pequena porção de ar era suficiente, dilatando-se, para encher toda a parte superior do tubo de Torricelli. A partir de então, Roberval já não defenderá a existência do vácuo no tubo — e sim ar rarefeito, como muitos peripatéticos haviam defendido.

Essa e outras experiências são descritas por Roberval em uma longa carta a Des Noyers, iniciada em 15 de maio de 1648 e terminada vários meses depois (reproduzida em: PASCAL, *Oeuvres*, vol. 2, pp. 310-40). Ele repete as observações de Torricelli de que o calor, aplicado à parte aparentemente vazia do tubo, faz descer a coluna de mercúrio. Conclui daí que há algum corpo (matéria) que preenche esse vácuo aparente, mesmo quando se toma todo o cuidado de evitar a presença do ar (Esse fenômeno, difícil de se compreender, é descrito por vários outros autores; ver POWER, *Experimental philosophy*, p. 91 (§ 10), p. 124; ROHAULT, *Traité de physique*, vol. 1, cap. 12, § 26, p. 113). Roberval chama também a atenção, novamente, para as bolhas de ar que sobem do mercúrio para o espaço aparentemente vazio e que são mais visíveis introduzindo-se um pouco de água no tubo, juntamente com o mercúrio.

Há outra observação de Roberval, descrita nessa carta, que parece paradoxal, na época. Quando, ao se encher o tubo de mercúrio, deixa-se um espaço de uma polegada sem mercúrio, preenchendo-a depois com água, o que ocorre ao inverter o tubo e retirar o dedo? O mercúrio desce e a água (que fica sobre ele) pressiona o mercúrio para baixo, por seu peso. Mas o mercúrio é quase 14 vezes mais denso do que a água. Uma polegada de água apenas abaixará o mercúrio de 1/14 de polegada. De fato, é o que se observa — e, até aí, não há paradoxo. Mas suponhamos que a experiência é repetida deixando-se uma polegada de ar (e não água) sobre o mercúrio. O que acontecerá ao inverter o tubo e destampá-lo? A expectativa geral era de que o mercúrio praticamente não seria em-

purrrado para baixo, pois o ar é muito menos denso do que a água. A observação mostrou, no entanto, a Roberval, que o ar empurrava significativamente o mercúrio para baixo — e muito mais do que a água!

A explicação de Roberval, semelhante à atual, é a força expansiva do ar. A água pressiona o mercúrio somente pelo seu peso; o ar, pelo seu peso (desprezível, no caso) e pela sua força de expansão (que era desconhecida, na época).

Isso tudo cria uma grande confusão, na época. Mersenne escreve, em 2 de maio de 1648, uma carta a Huygens, na qual se desespera de compreender qualquer coisa, depois de ver e repetir esses experimentos: “Vedes que a questão é insolúvel, se a clareza de vosso espírito não nos ajudar” (MERSENNE, *apud* MATHIEU, 1906b, p. 779-80).

Para Roberval, a situação também é difícil. Antes, ele defendia a existência de uma *atração* no espaço vazio do barômetro; agora, ele percebe que esse espaço não é vazio e que nele há uma *pressão* produzida pelo ar. O que, então, sustenta a coluna de mercúrio?

19 O EXPERIMENTO DO VÁCUO NO VÁCUO

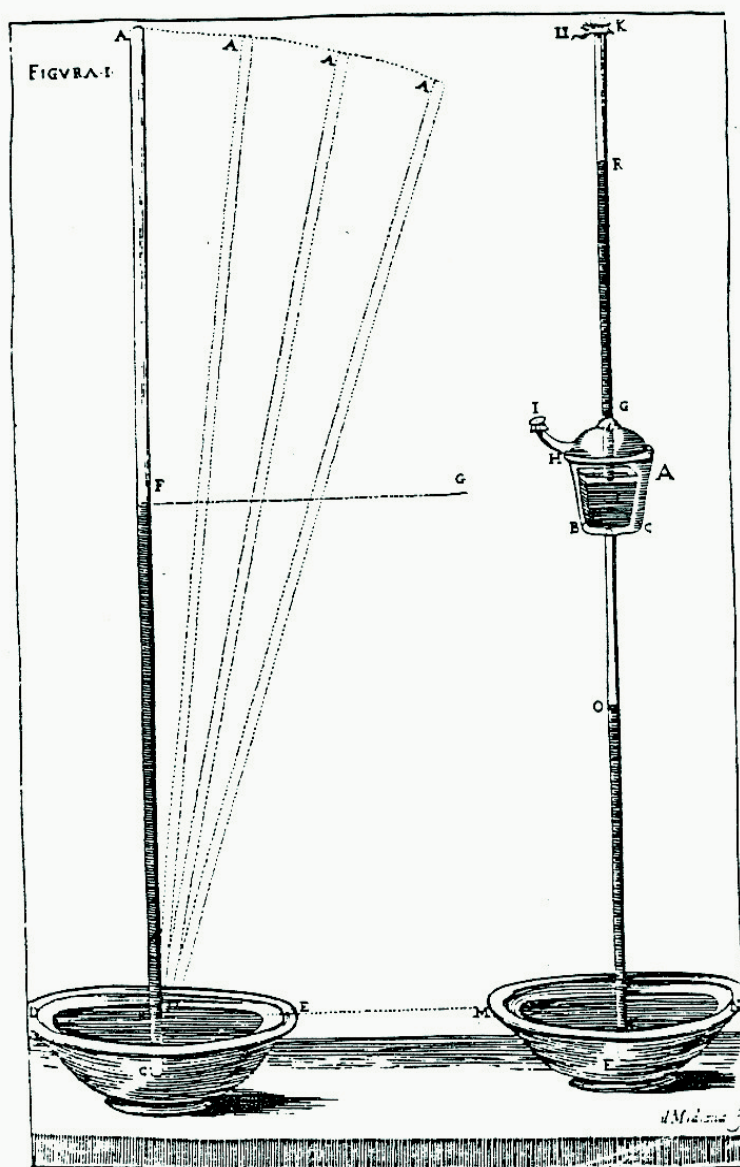
Roberval irá se convencer de que essa causa é a pressão do ar externo. A conversão de Roberval (que coincide com a de Mersenne) se dá em julho de 1648. Ela é devida ao “experimento do vácuo no vácuo” — sobre o qual há também uma longa discussão. Algumas vezes, o experimento é atribuído a Pascal, outras vezes a Roberval ou a Adrien Auzout. Embora este seja um ponto importante da tese de Félix Mathieu contra Pascal, não vamos nos deter sobre a questão do *autor* do experimento e sim discutir sua natureza e importância (ver descrições e variantes em MIDDLETON, *The experimenters*, p. 109; POWER, *Experimental philosophy*, p. 120; ROHAULT, *Traité de physique*, vol. 1, cap. 12, § 49, p. 124).

Utiliza-se um tubo de vidro longo, aberto dos dois lados, tendo em uma das extremidades uma ampla dilatação, além de um tubo lateral. Estando a dilatação voltada para cima, coloca-se dentro dela uma cuba de fundo retangular, de modo a não tampar o orifício do tubo. Toma-se, então, um segundo tubo, simples, aberto nas duas extremidades. Uma das extremidades é colocada na cuba retangular e a outra extremidade, aberta, projeta-se para fora da abertura da dilatação. Coloca-se então uma membrana impermeável e forte, que tampa a dilatação do tubo maior, deixando passar o segundo tubo (às vezes, usa-se uma tampa de vidro). As emendas são vedadas cuidadosamente. Tem-se, assim, um barômetro dentro de outro.

Assim preparado o aparelho, fecha-se a extremidade inferior do tubo maior; despeja-se então mercúrio pelo alto do tubo menor, deixando aberto o tubo lateral, por onde sai o ar. Quando o tubo maior, a cuba e a dilatação estão cheios, o tubo lateral é fechado com outra membrana impermeável. Acaba-se então de encher o próprio tubo pequeno, que é também fechado. Agora, todo o aparelho está cheio de mercúrio.

Colocando-se a extremidade inferior do tubo maior em uma cuba cheia de mercúrio, essa extremidade é destampada. O mercúrio desce, esvaziando completamente o tubo superior e parte do tubo inferior (até o nível barométrico normal). Embora a cuba retangular retenha mercúrio, o tubo superior se esvaziou.

Agora, perfurando-se com uma agulha a membrana que veda o tubo lateral, deixan-



do-se entrar o ar aos poucos, a coluna de mercúrio do tubo inferior começa a descer. Simultaneamente, o tubo superior começa a se encher de mercúrio. Se o tubo superior for suficientemente alto, ele se preencherá de mercúrio até a altura barométrica normal, quando o tubo lateral for totalmente destampado.

Esse experimento, de difícil descrição, era de fácil compreensão, quando visto. Mostrava, basicamente, que um barômetro em um espaço sem ar não funciona; e que a altura da coluna de mercúrio depende da pressão do ar contido no aparelho.

Esse experimento do vácuo no vácuo é citado por Mersenne como decisivo, a partir de junho de 1648. Ele também convence Roberval no mesmo mês.

A experiência do vácuo feita no vácuo prova de uma forma definitiva que a suspensão do mercúrio é devida à pressão da coluna de ar; se um pequeno tubo é encerrado no vazio de um tubo grosso, o mercúrio cai completamente; mas ele sobe logo que o ar penetra no tubo grosso (MERSENNE, *apud* MATHIEU, 1906b, pp. 780-1).

Embora importante, essa experiência, é claro, não prova o que Mersenne afirma. Ela prova que a pressão do ar produz efeitos sobre o mercúrio. Mas não prova que não existe o puxão ou atração do vácuo. Vamos assumir que essa atração existe; a experiência havia mostrado que ela não depende do tamanho do espaço vazio; pensemos agora em um barômetro colocado no espaço vazio: a parte superior (vazia) do tubo atrai o mercúrio, mas ele é igualmente atraído pelo vazio *externo* ao tubo; portanto, o mercúrio não deve subir no tubo. Explica-se assim, muito bem, o resultado do experimento. Além disso, até essa época, não se havia explicado a causa dessa sensação de puxão ou atração do dedo pelo vácuo do tubo. A teoria do puxão explicava efeitos que a pressão atmosférica não explicava (aliás, mais uma vez, aqui ocorre o que foi assinalado antes: estudantes de física elementar sentem enorme dificuldade em aceitar que o vácuo não suga os corpos).

20 ÚLTIMAS CONTRIBUIÇÕES DE PASCAL

Alguns meses após a divulgação do experimento do vácuo no vácuo, o cunhado de Pascal sobe o Puy-de-Dôme e realiza o experimento de Torricelli a diferentes altitudes, verificando que a altura da coluna de mercúrio é menor às maiores altitudes (ver “Descrição da grande experiência . . .”, neste volume). Agora, no entanto, o teste não produz mais o mesmo impacto que teria um ano antes.

É na publicação em que descreve esse experimento (outubro ou novembro de 1648) que Pascal defende pela primeira vez (por escrito) a pressão do ar como causa dos fenômenos atribuídos ao vácuo. O experimento do Puy-de-Dôme é descrito por ele como crucial, inexplicável de acordo com a idéia do horror ao vazio. Novamente, é fácil ver que ele não era conclusivo, pois tudo o que se aplica ao experimento do vácuo no vácuo se aplica também aqui.

Também é importante indicar que, mesmo posteriormente, continuaram a existir autores que negavam a existência do vácuo, explicando todos os experimentos de acordo com as concepções de Descartes (como o influente Jacques Rohault — ver ROHAULT, *Traité de Physique*, vol. I, cap. XII, pp. 94-133) e outros que adotavam explicações di-

ferentes da pressão atmosférica (por exemplo, POWER, *Experimental philosophy*; HALE, *Difficiles nugae*; LINUS, *Tractatus de corpore inseparabilitate*). Não se tratava de simples idiotas incapazes de compreender as evidências; nesta, como em outras questões científicas, o consenso, quando ocorre, não é fruto de *prova*: sempre existem outras alternativas plausíveis.

Após 1648, a questão do vácuo e da pressão do ar se acalma, até o surgimento das bombas de vácuo (Otto von Guericke e Robert Boyle). A famosa demonstração dos hemisférios de Magdeburg, por von Guericke, foi realizada em torno de 1654 (ver a descrição do próprio von Guericke, em: MADEY & BROWN, *History of vacuum science*, pp. 67-9). Pouco depois, a partir de uma descrição da aparelhagem de Guericke, Boyle manda construir (por Robert Hooke) uma bomba semelhante, publicando em 1660 seus primeiros resultados. Esses trabalhos, baseados em nova metodologia, geraram outra onda de interesse pelo assunto (e novas controvérsias — por exemplo, entre Boyle, Linus, Hobbes, Deusingius, Clerke e outros).

Depois do experimento do Puy-de-Dôme, em 1648, Pascal vai se afastando das pesquisas físicas. Em 1663, um ano após sua morte, são publicados seus tratados “Sobre o equilíbrio dos líquidos” e “Sobre o peso da massa de ar” (ver neste volume). Escritos provavelmente entre 1651 e 1654, esses tratados mutuamente complementares apresentam, de forma muito clara e sistemática, teoria e experiências relativas à hidrostática e à pressão atmosférica. Há poucos resultados originais nesses tratados. Segundo Duhem,

... vimos que Mersenne, Stevin, Benedetti, Galileo, Descartes e Torricelli, todos exerceram influência sobre o autor do “Tratado do equilíbrio dos líquidos”; nesse tratado não se encontra, sem dúvida, nenhuma verdade que não se origina de algum desses geometras (DUHEM, 1905, p. 609).

No entanto, Pascal é o primeiro a organizar de forma clara todo esse material. Com poucas críticas, os tratados poderiam ser utilizados ainda hoje como obras didáticas.

Isso nos traz ao final desta introdução histórica. Agora, cumpre ao leitor estudar os próprios textos de Pascal.