

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Dayson de Mello Silva

A natureza tem horror ao vácuo? Uma reflexão sobre o estabelecimento do peso do ar e a definição de pressão atmosférica.

Maringá – PR
2013

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Dayson de Mello Silva

A natureza tem horror ao vácuo? Uma reflexão sobre o estabelecimento do peso do ar e a definição de pressão atmosférica.

Monografia apresentada ao curso de Física para obtenção do Grau de licenciado em Física.

Orientado por: Prof. Dr. Luiz Roberto Evangelista.

Maringá – PR
2013

Maringá – PR
2013
Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Dayson de Mello Silva

A natureza tem horror ao vácuo? Uma reflexão sobre o estabelecimento do peso do ar e a definição de pressão atmosférica.

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do Grau de licenciado em Física, e aprovado na sua forma final pela Universidade Estadual de Maringá.

Data: ____/____/____

Nota: _____

Prof. Dr. Luiz Roberto Evangelista
Orientador – UEM

Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes
Avaliador - UEM

Prof. M.Sc. Ricardo Francisco Pereira
Avaliador - UEM

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, que possibilitou a minha chegada até aqui...

A minha mulher, pelo apoio e dedicação...

Ao meu orientador, pelas grandes ideias e sábios conselhos...

A todos os professores, pela contribuição em minha formação...

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração...

Resumo:

As discussões a respeito da existência do vácuo são muito antigas e controversas. Grupos de estudiosos defendiam sua existência, enquanto outros a negavam veementemente. Veremos no presente trabalho como as questões relativas ao vácuo começaram a ser respondidas, embasadas em experimentos. Muitos foram os que contribuíram para a formação destes novos conhecimentos. No entanto, alguns contribuíram de forma realmente decisiva, sendo os grandes responsáveis pela quebra do paradigma aristotélico relativo ao tão conhecido “horror ao vazio”, e o estabelecimento de uma nova Física. Acompanharemos mais atentamente as contribuições de quatro grandes cientistas: Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Otto Von Guericke e Robert Boyle. Este acompanhamento se dará a partir da análise das contribuições de cada um de modo a traçar um panorama de como a doutrina aristotélica do “horror ao vácuo” foi sendo gradativamente substituída por concepções de alto valor conceitual, enraizadas nos experimentos e nos processos de medida. Esse processo todo marca o início, em bases consolidadas, de uma física dos gases e da mecânica dos fluidos.

Palavras-chave: vácuo, pressão, Aristóteles

Abstract:

The discussions about the existence of the vacuum are very old and controversial. Groups of scholars defended its existence, while others vehemently denied. We will see in this work as issues relating to the vacuum began to be answered, grounded in experiments. Many were those who contributed to the formation of new knowledge, however, some of them contributed in a really decisive way, being largely responsible for breaking down on the Aristotelian paradigm known as "horror of emptiness", and the establishment of a new Physics. We will follow closely the contributions of four great scientists, namely: Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Otto Von Guericke, Robert Boyle. This monitoring will be based on the analysis of the contributions of each one, to give an overview of how the Aristotelian doctrine of the "horror of the vacuum" was gradually replaced by concepts of high conceptual value, rooted in the experiments and processes of measurement. This entire process marks the beginning, on a consolidated basis, a physics of gases and fluid mechanics.

Key-words: vacuum, pressure, Aristóteles

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. As incertezas com relação a existência do vazio	9
2.1 O vácuo existe?	9
2.2 Os atomistas	9
2.3 Os aristotélicos	11
2.4 O surgimento da resposta	12
3. A queda do horror ao vazio e o surgimento de uma nova Física	14
3.1 Evangelista Torricelli	14
3.1.1 Quem foi Evangelista Torricelli	14
3.1.2 Suas contribuições	15
3.2 Blaise Pascal	18
3.2.1 Quem foi Blaise Pascal	18
3.2.2 Suas contribuições	18
3.3 Otto Von Guericke	21
3.3.1 Quem foi Otto Von Guericke	22
3.3.2 Suas contribuições	22
3.4 Robert Boyle	26
3.4.1 Quem foi Robert Boyle	26
3.4.2 Suas contribuições	27
4. Considerações finais	32
Referências	33
Anexos	34
Tópico especial	49

1. Introdução:

Os trabalhos relativos ao tema proposto, ou seja, trabalhos que abordem sucintamente este período histórico são poucos e um tanto quanto fragmentados, principalmente se considerarmos apenas os trabalhos em língua portuguesa.

Devido a essa falta de material dedicado a um período histórico de extrema importância para o desenvolvimento da Física no século XVII é que o presente trabalho pretende reunir algumas informações relativas ao período em questão e apresentá-las de uma forma cronológica e coesa. O objetivo final é o de fornecer um material de pesquisa tanto para alunos dos cursos de Física ou engenharias, quanto para a comunidade de docentes, em geral, e para os professores de ciências, em particular. O uso desse material poderia ser útil para esclarecer como se deu essa grande mudança de paradigma, que marcou a passagem da concepção aristotélica vigente em favor de uma teoria mais bem elaborada e fundamentada em experimentos e processos de medida.

Os procedimentos para a realização do trabalho basearam-se em pesquisas realizadas em diversas fontes bibliográficas, buscando reunir uma considerável quantidade de informações referentes ao tema proposto, dando-lhe coesão e montando um quadro geral, panorâmico, das contribuições fundamentais para o estabelecimento da física dos gases e da mecânica dos fluidos. Não se trata, portanto, de um trabalho de história da física, mas da simples confecção de material didático de apoio ao ensino de ciências.

Da simples experiência cotidiana sabemos que quando o ar é removido de um recipiente e se cria ali um vácuo, então há uma tendência a que as coisas sejam para ali sugadas. Isso ocorre todas as vezes em que tomamos um refrigerante com um simples canudinho, como resultado do processo de sucção. Trata-se de um processo tão importante que, ao nascer, nós o herdamos como reflexo! A explicação existente no contexto da física aristotélica para o processo de preenchimento desse “espaço vazio” criado pela sucção pode ser resumida na frase que se lhe atribui genericamente: “a natureza abomina o vácuo” Ou seja, o espaço vazio será sempre preenchido por alguma coisa, pois há um verdadeiro horror, presente na natureza, à existência de um espaço vazio. Essa explicação, como todas as outras importantes explicações da física aristotélica, é de natureza teleológica, isto é, apela para as causas finais.

A explicação desse e de outros fenômenos só seria obtida a partir da descoberta de que a atmosfera exerce uma pressão sobre a superfície da Terra, feita por outro italiano, também

do círculo de Galileu, Evangelista Torricelli. A afirmação do peso do ar, no entanto, pode ser encontrada em diversos precursores como o Cardeal Nicolau de Cusa e Girolamo Cardano, no holandês Isaac Beeckman, cuja influência sobre Descartes foi substancial, e na obra do Padre Marin Marsenne, que encontrou, para o ar, uma densidade cerca de duas mil vezes menor que a da água.

Contudo, foi a partir da obra de Torricelli e a partir do rigor do método experimental de Pascal que o problema foi eficazmente resolvido.

Nosso percurso neste trabalho partirá, portanto, dessas contribuições pioneiras e se deterá no desenvolvimento posterior dessas ideias, procurando enfatizar como a doutrina do “horror ao vácuo” foi gradativamente sendo refutada e substituída por uma teoria mais bem elaborada, fundada em bases conceituais e experimentais mais sólidas.

2. As incertezas com relação á existência do vazio.

2.1 O vácuo existe?

Embora nos dias de hoje essa possa ser considerada uma questão trivial, antigamente nossos antepassados enfrentaram grandes dificuldades para chegar a uma conclusão referente a este tema. Existe realmente algum espaço vazio, onde não haja nenhum tipo de matéria? Veremos que, ao longo da história, grupos de estudiosos defenderam a existência do vácuo, já outros, a negaram. Começemos evocando o que achavam dois grandes grupos de estudiosos do passado, os atomistas e os aristotélicos.

2.2 Os atomistas

Se a pergunta da seção anterior fosse feita a um atomista, a resposta seria sim. Os atomistas acreditavam que tudo na natureza ocorria devido à ação de elementos mínimos e indivisíveis, os átomos. Não havia para eles nada no Universo que não fosse átomos ou vácuo. As reações entre eles eram governadas pelo acaso, definido como uma necessidade cega. Não havia interferência de qualquer ser inteligente dotado de poderes divinos. Ao contrário da maioria dos pensadores de sua época, acreditavam no vácuo, e na infinitude do Universo.

Afirmavam os atomistas que o átomo explicava não apenas o que chamavam de experiência sensível, mas também não suprimia nem o nascimento e destruição, nem o movimento e a multiplicidade dos seres. Acreditavam no poder de coisas pequenas demais para serem captadas pelos olhos e sustentavam essa opinião com um experimento de Empédocles que, ao mergulhar na água um vaso com sua boca para baixo, constatou que o ar, embora invisível, ocupava espaço e tinha propriedades como causar pressão na água. Os átomos teriam propriedades distintas entre eles como forma, cor, tamanho, densidade, cheiro, gosto etc. Todos os fenômenos observáveis da matéria estariam associados aos átomos. Entretanto, essas experiências sensoriais produzidas pelos átomos seriam sempre "filtradas" pela opinião do ser afetado. O caminho para o entendimento da verdade absoluta do mundo natural podia ser encontrado numa mistura ponderada da razão intelectual com a experiência sensorial.

Os atomistas dividiam todo o Universo em ser e não-ser, cheio e vazio. O ser seriam os átomos, infinitos em número, e todos pequenos demais para serem vistos. Estes seres se

movem no vácuo (não-ser); quando se unem, produzem o nascimento e quando se desagregam, provocam a destruição. O não-ser (vácuo), para eles, não tinha o mesmo sentido que o não ser de Parmênides (um não-ser absoluto). Na concepção dos atomistas, o vácuo era simplesmente um não-ser relativo ao ser. A existência do vácuo em suas teorias era fundamental, pois sem ele não se explicava o movimento.

Sobre essas suposições algumas conclusões foram tiradas:

Os átomos se movem no vácuo; encontrando-se, chocam-se entre si; uns saltam, outros entrelaçam-se, de acordo com a simetria de suas formas, tamanho, posições e disposições. Quando se reúnem, dá-se o nascimento das coisas compostas (Simplício).

Quanto aos corpos compostos, o mais leve é o que contém mais vácuo, e o mais pesado, o que possui menos. Algo parecido ocorre nos corpos duros e moles.

Com relação às ideias atomistas, é ilustrativo citar um pequeno trecho dos escritos de Epicuro, defensor da 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. (EPICURO, La lettre d'Épicure, 40 – p.79) Apud (MARTINS, O vácuo e a pressão atmosférica, da antiguidade a Pascal-p.11)

Este 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 Epicuros 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 por onde passar, se todas as coisas estivessem cheias e compactadas; assim, como o movimento existe, o aparente não dá um testemunho que contraria o fato opinado não evidente. (Sextus Empiricus, Contra os lógicos, livro I, 213-4) Apud (MARTINS, O vácuo e a pressão atmosférica, da antiguidade a Pascal-p.11)

Os argumentos apresentados até aqui, pelos atomistas, colocam a existência do vazio como algo imprescindível, pois sem ele o movimento não podia ser explicado. Veremos, no tópico seguinte, que uma outra corrente de pensadores pensava de uma forma completamente diferente com relação a este tema.

2.3 Os aristotélicos

Embora para os atomistas a existência do vácuo fosse fundamental, se essa mesma pergunta relativa à sua existência ou não fosse feita a um aristotélico a resposta seria claramente negativa.

Aristóteles, em seu livro *Física*, aborda o problema do vácuo, utilizando diversas reflexões lógicas para negar a sua existência.

Enquanto alguns afirmam a existência do vácuo como condição necessária para o movimento, o que acontece é exatamente o contrário: que nada poderia se mover se existisse o vácuo. Porque assim como alguns afirmam que a Terra está em repouso pela sua homogeneidade, assim também no vácuo seria inevitável que um corpo estivesse em repouso, pois não haveria um mais ou um menos para o qual as coisas se movessem, já que no vácuo não existem diferenças. Além disso, todo movimento é ou por violência ou por natureza. Mas se há um movimento violento, então tem que haver também um movimento natural (porque o movimento violento é contrário à natureza e o movimento contrário à natureza é posterior aquele segundo a natureza, de modo que, se não houvesse um movimento segundo a natureza em todos os corpos naturais, não haveria tampouco nenhum dos outros movimentos). Mas como poderia haver um movimento natural se não existe nenhuma diferença no vácuo e no infinito? Porque no infinito não há acima nem abaixo nem centro, e no vácuo, o acima não difere em nada do abaixo (porque assim como no nada não há diferenças, tampouco há no vácuo, pois se pensa que o vácuo é um certo não ser e uma privação). Mas o deslocamento natural é diferente, de modo que há diferenças nas coisas questão por natureza. Assim, pois, ou não há nenhum deslocamento natural em nenhuma parte e para coisa nenhuma, ou, se há, o vácuo não existe. (ARISTÓTELES, Física, Tradução e notas: GUILHERMO R. DE ECHANDÍA-p.138-139)

Vemos na citação acima, que Aristóteles, valendo-se de uma lógica incrível, refuta o que era afirmado pelos atomistas no que diz respeito ao vácuo ser necessário para que o movimento dos corpos fosse explicado. Além disso, Aristóteles afirmava que a natureza tinha um verdadeiro horror ao vácuo, e que quando se tentava criar este vácuo, a natureza imediatamente agia preenchendo este espaço.

Outro argumento utilizado pelos aristotélicos era com relação a velocidade dos corpos. Segundo Aristóteles a velocidade dos corpos era diretamente proporcional e suas massas e inversamente proporcional a densidade no qual o corpo se move. Havendo então um corpo em queda livre em um possível vácuo, onde a densidade seria próxima de zero, a velocidade do corpo tenderia ao infinito, o que é impossível, portanto o vácuo não existe.

Caímos então em um impasse, pois, se para os atomistas a existência do vácuo era imprescindível, para os aristotélicos era um absurdo, e vê-se que ambos os grupos possuíam argumentos plausíveis para sustentarem suas teorias!

2.4 O surgimento da resposta

A resposta para a nossa pergunta começa a surgir devido a um problema na utilização das bombas de sucção e bombas com êmbolos, que já eram amplamente utilizadas pelos antigos gregos e romanos principalmente com finalidade agrícola, mas também para o abastecimento de água e preenchimento de cisternas. A esse respeito, é representativa uma passagem dos *Discorsi* em que a dificuldade de se elevar a água a uma altura acima de cerca de dez metros é reportado por Galileu que, num primeiro momento, atribui o problema a um possível mau funcionamento da própria bomba.

Vi uma vez uma cisterna na qual tinha sido instalada uma bomba. O braço da bomba puxava seu êmbolo e a válvula para a parte superior, de tal maneira que a água se elevava por atração, e não por um impulso, como no caso das bombas que têm o pistão colocado lá em baixo (na cisterna). Essa bomba trabalhava perfeitamente, enquanto a água da cisterna se mantivesse acima de determinado nível; mas, abaixo daquele nível, a bomba deixava de trabalhar. Quando primeiro observei esse fenômeno, pensei que a bomba tinha se desarranjado, mas o operário que chamei para repará-la disse-me que o defeito não estava na bomba, mas na água (nível), que tinha caído muito baixo para que pudesse ser elevada em toda aquela altura; e acrescentou que não é possível, seja para uma bomba, seja para qualquer outra máquina que trabalhe pelo princípio da atração, elevar a água um fio de cabelo a mais do que dezoito cúbitos (cerca de 10 metros); seja a bomba grande ou pequena, este , o limite extremo de elevação.

Uma importante consequência da capacidade limitada das bombas de elevar água foi que algum outro método era necessário para bombear água para fora de minas profundas, e essa necessidade forneceu o estímulo inicial para o desenvolvimento de máquinas a vapor. Outra consequência foi que os físicos do século XVII se tornaram curiosos para descobrir como a bomba de sucção trabalhava e também porque deveria haver um limite em sua capacidade de elevar água.

Se você remove ar de um recipiente, criando ali um vácuo, há uma tendência que as coisas sejam para ali sugadas. Os filósofos aristotélicos explicavam esse fato dizendo que a natureza abomina o vácuo. Não é natural, eles diziam, que o espaço não seja ocupado por matéria, portanto a matéria se moverá no sentido de preencher qualquer espaço vazio. Este é um exemplo de uma explicação teleológica, ou seja, se baseia nas causas finais. Um dos principais objetivos da nova filosofia mecânica do século XVII era de eliminar esse tipo de explicação teleológica, e explicar os fenômenos em termos de causas físicas imediatas. A teoria aristotélica parecia bastante fraca nesse caso particular: Mesmo que as pessoas

aceitassem que a natureza tem horror ao vácuo, alguns achariam difícil explicar por que esse horror só é suficiente para elevar água a uma altura de aproximadamente 10 m.

Veremos, a partir de agora, como começaram a surgir as explicações referentes a este e outros problemas e que acabaram por culminar no abandono das explicações aristotélicas em favor de uma teoria mais bem elaborada do ponto de vista científico.

3. A queda do horror ao vazio e o surgimento de uma nova Física

3.1 Evangelista Torricelli

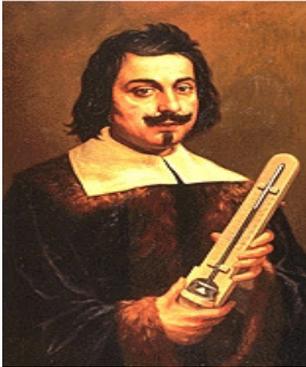


Figura 1: Evangelista Torricelli (1608-1647)

<http://n.i.uol.com.br/licaodecasa/ensfundamental/ciencias/torricrs.jpg> - 24/10/2012

3.1.1 Quem foi Evangelista Torricelli?

Evangelista Torricelli nasceu em 15 de outubro de 1608 em Faenza, perto de Modigliana, que então integrava os Estados Pontifícios. Formou-se no colégio jesuíta de sua cidade e, na Universidade de Roma, foi aluno de Bonaventura Cavalieri. Em 1641 escreveu um tratado sobre mecânica, *De motu gravium naturaliter descendentium et proiectorum* (Sobre o movimento dos corpos pesados naturalmente descendentes e projetados), brilhante comentário ao terceiro diálogo dos discursos de Galileu. No mesmo ano, foi convidado a radicar-se em Florença para trabalhar como secretário e assistente de Galileu, função que exerceu por apenas três meses devido à morte do astrônomo. Foi então nomeado para substituir o mestre como matemático do grão-duque da Toscana e professor de matemática da academia florentina. Torricelli morreu em Florença, em 25 de outubro de 1647.

3.1.2 Suas contribuições

Torricelli percebeu que a atmosfera exerce uma pressão sobre a superfície da Terra, coisa que já era afirmada por vários de seus predecessores, e suspeitou que fosse devido a essa pressão que as bombas se mostravam incapazes de elevar água acima de uma determinada altura, essa pressão do ar seria suficiente para explicar o fenômeno até então atribuído ao fato de a natureza ter horror ao vácuo. Se a bomba era capaz de elevar água até uma altura de aproximadamente 10 metros, o que aconteceria se um líquido de maior densidade fosse utilizado? Torricelli percebe que o mercúrio, um líquido cerca de quatorze vezes mais denso que a água seria mais interessante para experimentos laboratoriais. De fato a mesma bomba que era capaz de elevar água a uma altura de aproximadamente 10 m, só elevava o mercúrio a 0,76 m.

Afim de provar suas teorias a respeito do peso do ar e da pressão atmosférica, Torricelli idealiza um experimento bastante interessante, que veio a ser conhecido como o barômetro de Torricelli. O instrumento consistia em um tubo de vidro de comprimento superior a 0,76 m, aberto em uma extremidade e selado na outra; uma cuba; e mercúrio suficiente para preencher o tubo e a cuba. O tubo era então cheio até a borda, a extremidade aberta era fechada com o dedo e então o tubo era virado de cabeça para baixo dentro da cuba, removendo-se o dedo. Observava-se que o mercúrio do tubo corria para dentro da cuba, mas somente até que a diferença entre o nível do tubo e o da cuba fosse de aproximadamente 0,76 m.

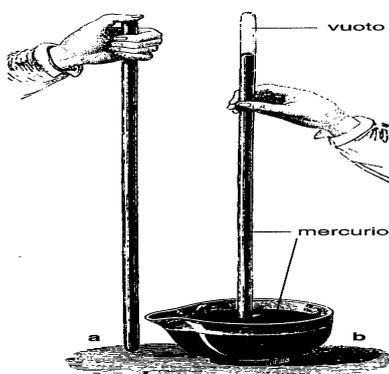


Figura 2: Barômetro de Torricelli. A coluna de mercúrio no tubo é balanceada pela pressão da atmosfera sobre a superfície de mercúrio na cuba. Geralmente a altura da coluna de mercúrio é de aproximadamente 760 mm ao nível do mar.

O resultado é mostrado na figura 2. Obtêm-se, assim, na parte superior do tubo, um espaço vazio que aparentemente não é ocupado por nenhuma matéria. Torricelli repete então o experimento, mas agora utilizando um tubo que possuía um bulbo mais largo, criando um espaço vazio mais amplo, onde pequenos objetos se moviam mais rapidamente.



Figura 3: Torricelli realizando experimentos com o barômetro

De acordo com Torricelli, a força que mantinha a coluna de mercúrio elevada no tubo era simplesmente a pressão atmosférica, transmitida através do mercúrio na cuba. O ar pressiona a superfície do mercúrio na cuba, e como praticamente não existe gás no espaço vazio no topo do tubo, o mercúrio desce pelo tubo, mas somente até o ponto em que seu peso equilibre a força exercida pelo ar sobre a superfície de mercúrio na cuba. Torricelli realiza, então, diversas vezes o experimento, utilizando tubos de diversos tamanhos e formatos, largos, finos, com bulbos grandes e pequenos. Acaba chegando a conclusão de que a altura da coluna de mercúrio no tubo é independente da largura do tubo ou de quanto mercúrio se encontra na cuba. De fato, podemos analisar a situação matematicamente e mostrar que a altura da coluna realmente independe da área, se usarmos uma linguagem que nos é mais familiar.

Sabemos que a pressão (P), é definida como sendo uma força (F), que atua sobre determinada área (A), ou seja:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Para o nosso caso, a força é o próprio peso da coluna de líquido no tubo.

Portanto;

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

Em que m é a massa da coluna do líquido e g é a aceleração da gravidade.

Podemos expressar a massa do líquido em função de sua densidade, se V for o volume ocupado pelo líquido, a saber:

$$d = \frac{m}{V} \quad (3)$$

O volume de líquido no tubo pode ser expresso como sendo a área da secção reta do tubo vezes a altura da coluna. Portanto, podemos escrever a massa como sendo dada pela relação:

$$m = d.A.h \quad (4)$$

De (4) em (2), temos:

$$F = d.A.h.g \quad (5)$$

de (5) em (1), e eliminando as áreas, temos, finalmente.

$$P = d.g.h \quad (6)$$

Portanto, usando uma notação moderna, é fácil demonstrar que realmente a pressão independe da área. Em outras palavras, quando a pressão produzida pela coluna de líquido no tubo se iguala à pressão atmosférica, ela independe da largura do tubo, dependendo somente da altura da coluna.

Os experimentos de Torricelli com o barômetro sem dúvida representaram um papel fundamental na refutação da teoria aristotélica do horror ao vácuo, pois evidenciava a existência da pressão atmosférica como explicação para o problema com as bombas de sucção, e não um horror fictício ao vazio. Além disso, mostrava ser possível a existência de um espaço vazio, o que era veementemente negado pela teoria aristotélica.

Mesmo com os resultados obtidos por Torricelli, uma grande parte da comunidade científica da época permaneceu receosa com relação à sua aceitação, pois vinha de encontro com tudo que se acreditava até então. De qualquer modo, os experimentos realizados por

Toricelli tiveram um papel fundamental, e acabaram por desencadear uma grande revolução no conhecimento referente á pressão atmosférica e a possibilidade do vácuo.

3.2 Blaise Pascal



Figura 4: Blaise Pascal(1623-1662)

<http://www.gradeamathhelp.com/images/blaise-pascal.jpg> - 24/10/2012

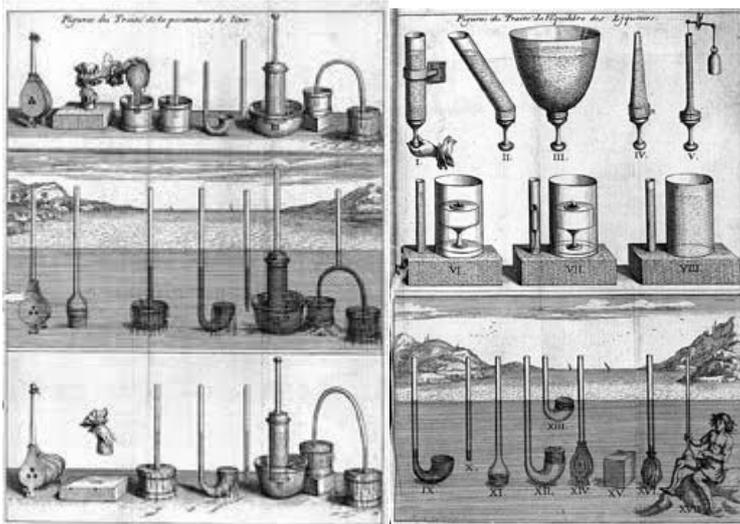
3.2.1 Quem foi Blaise Pascal?

Em 19 de junho de 1623, em Clermont-Ferrand, nasce Blaise Pascal, filho de Etienne Pascal e de Antoinette Bégon. Perde a mãe bastante jovem e, sendo o único filho homem, recebe total dedicação do pai no que diz respeito à sua educação. Pascal demonstra um grande talento para a matemática, descobrindo por si só muitos dos tratados apresentados no livro dos elementos de Euclides. Etienne, ao ver que o filho havia descoberto a matemática por si só, presenteia o filho com os livros de Euclides, que em pouco tempo os domina e aos dezesseis anos escreve um tratado sobre as cônicas.

3.2.2 Suas contribuições:

As descobertas feitas na Itália, em especial por Evangelista Torricelli, não foram divulgadas abertamente na época, pois envolviam assuntos delicados que contrariavam a opinião geral, ou seja, as doutrinas aristotélicas. Também vale lembrar que o fantasma da inquisição ainda pairava, tornando os pesquisadores receosos. Pascal toma conhecimento dos

experimentos realizados na Itália através de Pierre Petit, que realiza o experimento do barômetro em Rouen no ano de 1646, na presença dos dois pascal, pai e filho. Após presenciar o experimento, Pascal passa a se dedicar arduamente ao assunto, realizando diversos outros experimentos envolvendo seringas, foles, tubos de diversos formatos e dimensões e diversos tipos de líquidos diferentes, como: água, vinho e mercúrio.



Figuras 5 e 6: Aparatos utilizados por Pascal na realização dos experimentos relativos ao vácuo

<http://www.iihr.uiowa.edu/wp-content/uploads/2011/04/pascal01.jpg> - 29/10/2012

<http://www.iihr.uiowa.edu/wp-content/uploads/2011/04/pascal02.jpg> - 29/10/2012

Em 15 de novembro de 1647, Pascal escreve uma carta ao seu cunhado, Florin Périer, carta esta que se encontra nos tratados publicados por Pascal (carta completa se encontra presente nos anexos), abaixo segue uma pequena transcrição da carta:

[...] Eu imaginei uma prova que — se for corretamente executada — por si só será suficiente para esclarecer aquilo que procuramos [...] Trata-se de fazer a já conhecida experiência do vácuo, inúmeras vezes num mesmo dia — usando o mesmo recipiente e o mesmo mercúrio — tanto na planície como no alto de uma montanha, para verificar se a altura do mercúrio em suspensão no tubo é igual ou diferente nas duas situações. Como você pode ver, a experiência é decisiva. Se a altura da coluna de mercúrio for menor no alto da montanha (tenho uma série de razões para acreditar que seja) se concluirá necessariamente que o peso do ar é a única causa do fenômeno e não o horror ao vácuo. E lógico que o peso do ar no pé da montanha é maior do que no alto, a não ser que se diga que a natureza abomina mais o vácuo na planície.

Como mencionado na carta, Pascal pede para que seu cunhado realize o experimento comum do vácuo várias vezes, mas em altitudes diferentes, ou seja, ora na base de uma montanha e ora no cume: o objetivo era observar se havia diferença na altura da coluna de mercúrio. Esperava-se que na base da montanha a altura da coluna de mercúrio fosse maior do que no cume, pois na base existe uma maior quantidade de ar pressionando a cuba, equilibrando mais facilmente a coluna. Na época especula-se que Pascal não estava certo a respeito da causa de a coluna de mercúrio não descer inteiramente para a cuba. O que é mais provável é que Pascal acreditasse que o vácuo produz uma espécie de sucção que mantinha a coluna de mercúrio e até então não atribuísse o efeito ao peso do ar. O experimento que Pascal pede para que seu cunhado realize seria uma forma de provar, de uma vez por todas, qual era a teoria verdadeira, pois se fosse realmente o peso do ar deveria haver diferença na altura da coluna entre a base e o cume da montanha. A experiência aconteceu em 19 de setembro de 1648 na montanha Puy-de-Dôme e realmente foi constatado que a coluna de mercúrio era mais elevada na base da montanha do que em seu cume. O relato de Périer foi recebido com satisfação por Pascal, conforme indica correspondência que este enviou ao cunhado: *“Esse relato esclarece todas as minhas dificuldades e eu não escondo o fato de que eu fiquei extremamente feliz com isso”* (MAGIE, 1969, p.75).



Figura 7: Périer e alguns amigos realizando o “experimento decisivo” a pedido de Pascal.

http://th.physik.uni-frankfurt.de/~scherer/Blogging/Pascal/PuyDeDome_s.jpg

Desta forma, a existência da pressão atmosférica deixava de ser uma hipótese, para tornar-se um fato demonstrado experimentalmente. Em outubro, o próprio Pascal repetiria a prova na torre de Saint Jacques, em Paris.

Apenas quatro anos decorreram desde a experiência de Torricelli até a de Pascal. No entanto, nesse curto espaço de tempo, graças ao novo método, o de procurar a explicação para os fenômenos naturais na própria natureza, a Ciência progrediu enormemente.

Da experiência no Puy de Domê Pascal tirou algumas consequências marcantes. Concluiu, por exemplo, que com o uso do barômetro de mercúrio “é possível saber se dois lugares distam igualmente do centro da Terra, ou qual o mais alto e qual o mais baixo”. Pela primeira vez era formulado o princípio da determinação de altitudes por nivelamento barométrico.

Existem diversas discussões relativas à origem da ideia a respeito do experimento anteriormente citado. Segundo alguns historiadores, o experimento não foi idealizado por Pascal e sim por Descartes, tendo este, sugerido a Pascal que realizasse o experimento de modo a verificar a veracidade das teorias relativas á pressão atmosférica. Pascal, no entanto, não dá crédito algum a Descartes, utilizando a idéia como se fosse de sua própria autoria.

3.3 Otto Von Guericke

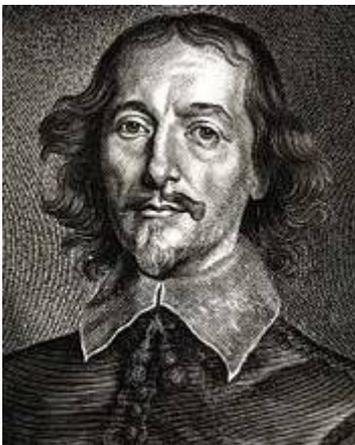


Figura 8: Otto Von Guericke(1602-1686)

http://0.tqn.com/d/chemistry/1/0/k/5/1/Otto_von_Guericke.jpg - 24/10/2012

3.3.1 Quem foi Otto Von Guericke?

Otto Von Guericke nasceu Otto Guericke em 20 de novembro de 1602, como filho de uma família patricia, residente em Magdeburgo durante três séculos. Aos 15 anos de idade ingressa na faculdade de artes da Universidade de Lípisia. Após isso estudou em Helmstedt e Jena. Em Leiden, Holanda, estudou matemática e começou a trabalhar com problemas de engenharia. Em 1631, foi indicado como engenheiro construtor para ajudar a reconstruir Magdeburgo depois de esta ter sido severamente danificada durante os trinta anos de guerra. Em 1646 foi eleito prefeito de Magdeburgo, cargo que manteve até 1678. Em quatro de janeiro, 1666, Otto Guericke foi elevado á nobreza pelo imperador Leopold I, em reconhecimento por suas contribuições políticas e científicas, e após isso passa a ser chamado Otto Von Guericke. Em 1681 deixa Magdeburgo e se muda para viver com o filho em Hamburgo, onde morre em 11 de maio de 1686.

3.3.2 Suas contribuições:

Após os experimentos de Torricelli e Pascal a respeito do peso do ar e pressão atmosférica, vários outros pesquisadores desenvolveram trabalhos frutíferos na área. Dentre eles, Otto Von Guericke desenvolveu a primeira bomba de ar no ano de 1650. Embora suas primeiras bombas de ar não fossem muito eficientes, elas eram capazes de demonstrar a capacidade de a atmosfera realizar trabalho. Assim, Von Guericke refutou definitivamente a noção de que era impossível existir o vácuo.

A primeira bomba de evacuação de Von Guericke trabalhava com um pistão e era capaz de esvaziar recipientes inteiros. Ele iniciou seus experimentos com a bomba utilizando barris de cerveja e vinho cheios de água, mas percebeu que quando a água era bombeada para fora, o ar entrava no barril através dos poros da madeira, impedindo que o recipiente fosse esvaziado. O trabalho de Guericke utilizando barris é retratado na figura abaixo:



Figura 9: Primeira bomba de ar de Von Guericke, sendo usada para extrair água do barril.<http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTEpxoa9O-IZwIFkMMiHJ0I2pZ2GlnB0wyMKXTHuJ7Rkc73tN9nBFqZ8ve> - 24/10/12

Von Guericke da continuidade aos seus experimentos utilizando esferas feitas de cobre ou bronze, feitas cuidadosamente, de forma que se encaixassem perfeitamente. Aprincípio, os experimentos eram realizados enchendo-as com água e, posteriormente, com ar. A água ou ar era bombeada para fora com sua bomba, criando no interior da esfera um vácuo. Em seus inúmeros experimentos evacuando ar de recipientes, ele demonstrou que, no interior destes recipientes, um sino tocando não poderia ser ouvido, que velas não queimavam, e que diferentes espécies de pássaros e peixes não podiam sobreviver sob pressão muito baixa. Usando esferas de bronze ocas e a bomba de ar de sua própria construção, demonstrou que um vácuo parcial podia ser criado bombeando o ar para fora da esfera, como retrata a figura abaixo.



Figura 10: Bomba de Von Guericke sendo utilizada para remoção do ar de uma esfera de cobre.
http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Pneumatics/Vacuum_Pump/Van_Guerickes_Pumpa.JPG - 24/10/2012

A respeito dos experimentos de Von Guericke é representativa uma passagem do livro *Ottonis de Guericke Experimenta nova (ut vocantur) magdeburgica*, no qual, o mesmo relata seus experimentos.

Depois que a porosidade da madeira foi atestada pela minha inspeção, assim como pela investigação, pareceu-me que para os meus propósitos uma esfera de cobre [...] seria mais adequada. Essa esfera [...] foi equipada com uma torneira de latão na parte superior [...]; e na parte inferior a bomba foi introduzida e fixada a ela. Então eu novamente comecei, como antes, a retirar dela toda água e ar. Primeiramente, o pistão se moveu facilmente, mas logo se tornou mais difícil movê-lo, de forma que dois homens fortes tinham dificuldade para movê-lo. [...] quando eu já pensava que quase todo o ar tivesse sido retirado, repentinamente com um forte barulho e para grande espanto nosso, a esfera de metal foi esmagada como uma roupa pode ser apertada entre os dedos, ou como se a esfera tivesse sido arremessada do alto de uma torre sofrendo um choque violento. Pensei que a causa disso fosse a inabilidade dos artesãos, que talvez não tivessem feito essa esfera perfeitamente esférica. [...] Foi então necessário que os artesãos fizessem uma esfera perfeitamente redonda. Dessa esfera o ar foi bombeado, no início com facilidade e depois com mais dificuldade. [...] Quando abrimos a torneira superior [...], o ar entrou com tal força que parecia que a esfera de cobre seria capaz de dragar um homem que estivesse diante dela [...]. Embora a esfera parecesse completamente vazia [repetiu-se o procedimento com a bomba], ainda assim a experiência mostrou que quando deixada por um ou dois dias, ela novamente se enchia de ar. [...]. Era, então, necessário evitar esse defeito [...]. (MAGIE, 1969, p. 82-83).

Em 8 de maio de 1654, Von Guericke apresentou seu primeiro experimento relativo ao vácuo perante o imperador, Ferdinand III (1608-1657). Ele demonstrou a tremenda força exercida pela pressão atmosférica, e o fez bombeando o ar para fora de dois hemisférios de cobre perfeitamente encaixados e mostrando que duas parselhas de cavalos eram incapazes de afastar os dois hemisférios até o momento em que o ar fosse readmitido.



Figura 11: Os conhecidos “hemisférios de Magdeburgo”.

<http://www.epiccustommachines.com/assets/content/images/Riehn%20added%20pictures/von%20guericke.jpg>
g – 26/10/2012

No ano de 1657, a demonstração de Von Guericke foi repetida na corte do imperador em Viena e novamente em Berlin. Dois hemisférios de bronze, cada um com aproximadamente 50 cm de diâmetro, foram unidos e um vácuo foi produzido entre eles. Nem mesmo a força combinada de 30 cavalos puxando em direções opostas foi suficiente para separar as duas partes. Von Guericke, que inicialmente não queria publicar seus resultados, foi motivado a escrever a respeito de seus experimentos pelo crescente interesse público. Terminou seu livro *Experimenta Nova Magdeburgica De Vacuo Spatio* em 1663. No entanto, levou outra década até que fosse publicado. Abaixo, imagem da capa do livro publicado por Von Guericke em 1663.

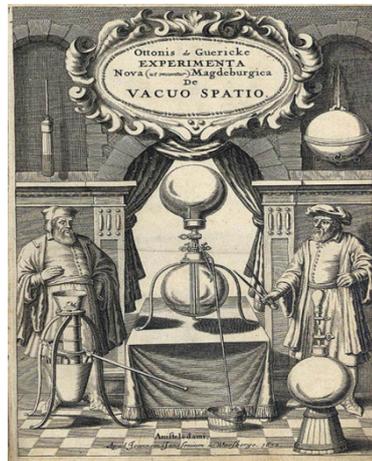


Figura 12: Capa do livro “Experimenta Nova(ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio”.

<http://www.library.usyd.edu.au/libraries/rare/modernity/images/vonguericke1-1.jpg> - 29/10/2012

O livro de 301 páginas consistia de 7 capítulos lidando com os seguintes tópicos: 1) O mundo e sua estrutura; 2) Espaço vazio; 3) Meus próprios experimentos; 4) Os efeitos cósmicos; 5) O planeta azul e sua composição, a lua; 6) Nosso sistema solar; 7) As estrelas fixas e os seus limites. Ele descreveu cerca de 37 experimentos no capítulo 3. Este livro foi uma contribuição científica significativa para a comunidade científica do século XVII, aumentando o conhecimento da física atmosférica e da fisiologia em altas altitudes. A invenção de Von Guericke da primeira bomba de ar, em 1650, possibilitou a pesquisa em tópicos relacionados a baixas pressões e foi importante para os estudos posteriores em altas altitudes.

Sem dúvida, os trabalhos realizados por Von Guericke representaram outro grande baque para os aristotélicos, pois seus experimentos diziam como a natureza não possuía horror nenhum ao vazio e nem fazia força nenhuma para evitá-lo, a única causa explicadora dos trabalhos realizados por Von Guericke era o peso do ar e a pressão atmosférica.

3.4 Robert Boyle



Figura 12: Robert Boyle (1627 – 1691)

http://www.crystalinks.com/robert_boyle.jpg - 29/10/2012

3.4.1 Quem foi Robert Boyle:

Robert Boyle nasceu no castelo de Lismore, na Irlanda, a 25 de janeiro de 1627. Era o sétimo dos catorze filhos do duque de Cork, homem abastado, senhor de terras e membro influente da corte. Sua educação foi primorosa. Ainda criança aprendeu o latim e o francês e, com apenas oito anos, foi mandado para Eton, escola tradicional, frequentada pelos filhos das mais afortunadas famílias inglesas. Ali permaneceu até 1638, quando, em companhia de um tutor francês, partiu em viagem pela Europa. O roteiro incluía uma estada em Florença (de 1641 a 1642), onde o jovem inglês assistiu aos últimos anos da vida de Galileu Galilei, tendo ocasião de estudar de perto "os paradoxos do grande espectador de estrelas". Pôde, desta forma, assimilar sua posição crítica perante a filosofia aristotélica e adquiriu com ele a certeza de que a experiência é a fonte clara e pura dos conhecimentos científicos. De volta à Inglaterra, viveu em Londres, onde fez parte de um círculo de amigos que tratava de assuntos científicos. Boyle se referia ao grupo como os “colegiados invisíveis” (invisible college), grupo este que mais tarde se tornou a Royal Society, em 1662. Boyle se mudou para Oxford em 1654, indo morar em uma casa perto da Universidade, onde uma placa no muro ainda pode ser encontrada.

3.4.2 Suas contribuições:

Robert Boyle inicia seus experimentos relacionados às propriedades do ar após tomar conhecimento dos experimentos de Von Guericke, reportados em um livro escrito por Gaspar Schott em 1657. Logo percebeu que o aparato utilizado por Von Guericke tinha duas sérias deficiências, a mais importante era que o recipiente evacuado não podia ser facilmente aberto, e portanto era impossível colocar alguma coisa em seu interior, afim de realizar experimentos. Outro problema era que a bomba de Guericke possuía uma eficiência muito baixa, pois requeria o trabalho contínuo de dois homens fortes, por diversas horas. Obviamente, Boyle almejava algo mais conveniente que isso. Como indicado anteriormente, o livro de Gaspar Schott, pelo qual Boyle teve acesso aos experimentos de Guericke, foi publicado no ano de 1657, e, por volta de 1659, Boyle já tinha uma bomba de ar construída e estava pronto para conduzir seus experimentos. A bomba foi projetada e construída por Robert Hooke (1635-1703), que foi um gênio da mecânica. Boyle fez contribuições em diversos campos da ciência, e seus experimentos e resultados vieram á luz em seu livro de título “*New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and its* de seu livro de 1660.

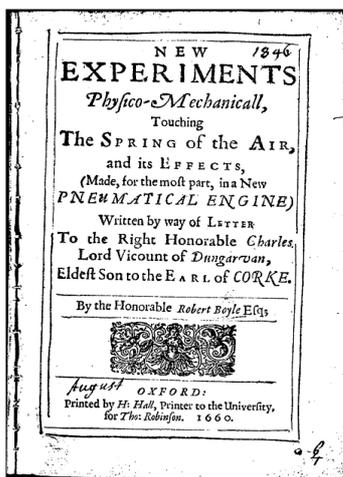


Figura 13: Página de título do livro de 1660.

http://www.bbk.ac.uk/boyle/researchers/intro_images/spring2edtp.jpg - 01/11/2012

No livro publicado por Boyle em 1660 além de descrever seus experimentos e resultados, ele descreve detalhadamente o processo de construção de sua bomba de ar. De fato, as primeiras 19 páginas de seu livro são dedicadas à descrição da bomba. Abaixo seguem

duas imagens referentes à bomba de Boyle, a primeira retirada de seu próprio livro, e a segunda, é uma reconstrução moderna da bomba.



Figura 14: Bomba de ar de Boyle, projetada e construída por Robert Hooke.

<http://www.christies.com/lotfinderimages/d50672/d5067254l.jpg> - 01/11/2012

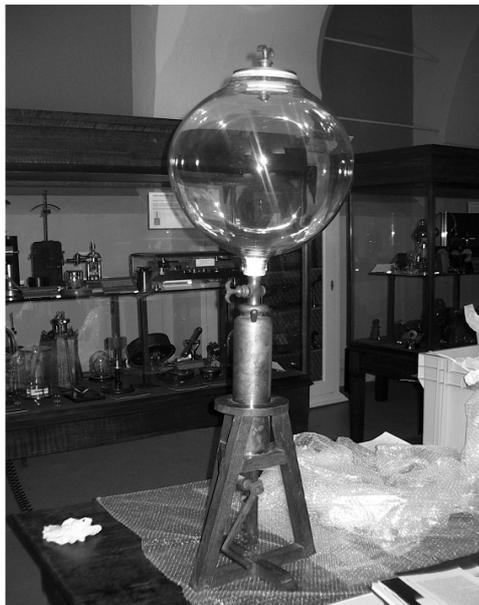


Figura 15: Reconstrução moderna da bomba de ar no museu de História da Ciência em Oxford

<http://jap.physiology.org/content/98/1/31/F4.large.jpg> - 01/11/2012

Com sua bomba, Boyle conduziu um grande número de experimentos. Realizou experimentos envolvendo fisiologia, nos quais comprovava que animais impostos a baixas pressões não sobreviviam, experimentos relativos às propriedades do ar, tais como sua elasticidade e peso, e também verificou que uma vela não queimava em condições de pressão muito baixas, embora não soubesse explicar a causa. Boyle imaginava que, ao reduzir-se a pressão, a chama da vela deveria tornar-se maior. Além disso, realizou variantes dos experimentos realizados por Evangelista Torricelli. Estas variantes dos experimentos de Torricelli consistiam em realizar os mesmos experimentos feitos pelo italiano, mas utilizando a bomba de ar para verificar as alterações que ocorreriam na coluna de mercúrio. Através de seus experimentos, Boyle verificou que, quando o ar era removido, o nível do mercúrio no tubo diminuía, comprovando que realmente o que sustenta a coluna de mercúrio é a pressão de ar atuando na cuba. Boyle também realiza o processo reverso. Aumentando a pressão no interior do recipiente, constatou que a coluna de mercúrio subia, devido a uma maior pressão atuando na cuba. Sem dúvida, uma de suas maiores contribuições diz respeito à formulação da lei de Boyle, que trata da relação inversa entre pressão e volume. Seus resultados referentes a este tema encontram-se na segunda edição de seu livro de 1660, publicado dois anos depois, em 1662 *“New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Air: Whereunto is Added A Defence of the Authors Explication of the Experiments, Against the Objections of Franciscus Linus, and Thomas Hobbes”*, que se tratou de um livro publicado como resposta as objeções levantadas por Linus com relação aos resultados obtidos por Boyle concernentes ao peso do ar. Linus argumentava que alguma coisa invisível sobre o mercúrio deveria ser responsável por sua sustentação, e que o ar não poderia ser responsável por exercer tamanha força a ponto de sustentar a coluna de mercúrio no barômetro. Boyle idealiza, então, um novo experimento no intuito de comprovar seus resultados anteriores. Neste novo experimento, Boyle utiliza um tubo de vidro em forma de J, com o lado maior medindo cerca de 2,44 m, enquanto o lado menor media cerca de 30,5 cm e era selado na extremidade. Escalas feitas de papel foram afixadas aos dois lados do tubo, para que medidas de volume pudessem ser realizadas. Após isso, mercúrio foi adicionado ao tubo pelo lado maior, até que o nível nos dois lados do tubo fosse o mesmo. Em parte do tubo menor restou certa quantidade de ar aprisionada e como o nível de mercúrio nos dois lados do tubo era o mesmo, era possível afirmar que a pressão nos dois lados havia se igualado, ou seja, a pressão exercida pela pequena porção de ar confinada no lado menor do tubo era igual à pressão exercida pela atmosfera no lado maior. Anotado o volume de ar aprisionado no lado menor, mais mercúrio passou a ser adicionado ao lado

maior, de modo que o peso da coluna de mercúrio do lado maior causava uma compressão sobre o volume de ar aprisionado no lado menor. Foi adicionado mercúrio até que o volume de ar aprisionado fosse exatamente à metade do volume inicial. Após isso, verificou-se que a diferença de altura nas duas colunas de mercúrio era de exatamente 0,76 m, que sabemos ser aproximadamente a medida da pressão atmosférica. Abaixo segue uma imagem para ajudar na compreensão do experimento realizado por Boyle, e que possibilitou a obtenção de sua Lei.

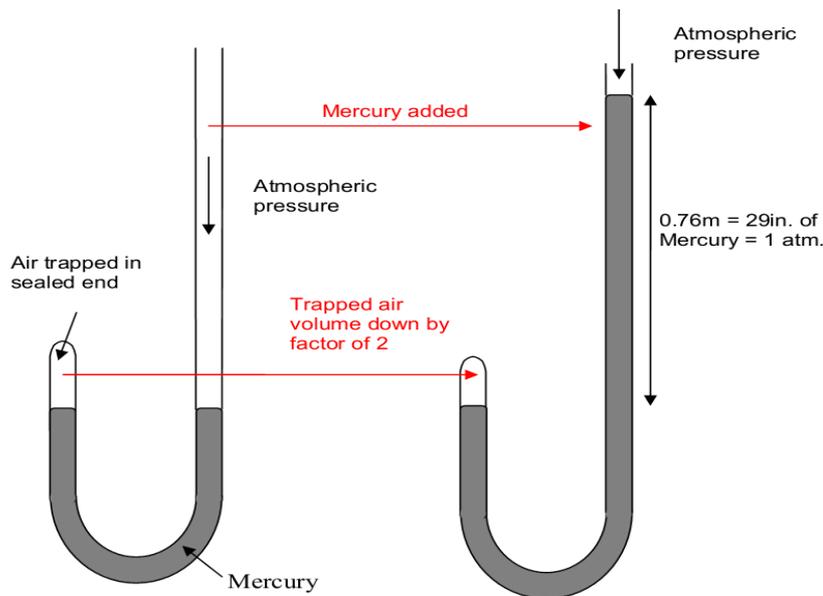


Figura 16: Experimento realizado por Boyle, que permitiu a obtenção de sua Lei.

Boyle ficou extremamente satisfeito com os resultados obtidos, pois ele sabia que a pressão extra exercida pela coluna de mercúrio no lado maior do tubo era igual à uma pressão atmosférica extra, portanto, o ar confinado do lado menor reduziu seu volume a metade ao mesmo tempo em que dobrou a pressão exercida. Boyle repetiu o experimento diversas vezes e de diversas maneiras, obtendo assim uma relação entre pressão e volume. Ficou então estabelecida a Lei de Boyle:

$$PV = \text{constante}$$

A complicada história da descoberta da lei de Boyle foi recentemente desvendada pelos historiadores. Aparentemente a lei foi proposta primeiramente por outros dois cientistas britânicos, Henry Power e Richard Towneley, tendo por base que seus experimentos foram iniciados em 1653. Eles não publicaram seus resultados imediatamente, mas após os primeiros experimentos de Boyle sobre a pressão atmosférica serem publicados em 1660, Power enviou um artigo descrevendo os resultados de seu trabalho conjunto a seu amigo, William Croone, em Londres. O título do artigo era “ Experimentos adicionais realizados no Towneley hall nos anos de 1660 e 1661, com o auxílio do cavalheiro Richard Towneley.” Mas Power não colocou seu próprio nome no artigo. Croone enviou o artigo a Boyle, se esquecendo de mencionar que Power era o autor. Boyle foi muito cuidadoso em dar o devido crédito pela informação recebida e em sua monografia de 1662 em resposta a Linus, ele diz que não havia percebido que a simples relação $PV = \text{constante}$ se aplicava aos seus próprios dados até que Richard Towneley mencionasse. Cientistas posteriores, que leram os trabalhos de Boyle, assumiram que Boyle realizou toda a descoberta por si mesmo.

Os dados obtidos por Boyle foram anotados em uma tabela, abaixo segue imagem da tabela onde Boyle anotou os dados de seu experimento:

<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
48	12	00		$29\frac{2}{16}$	$29\frac{2}{16}$
46	$11\frac{1}{2}$	$01\frac{7}{16}$		$30\frac{9}{16}$	$33\frac{1}{16}$
44	11	$02\frac{13}{16}$		$31\frac{5}{16}$	$31\frac{13}{16}$
42	$10\frac{1}{2}$	$04\frac{6}{16}$		$33\frac{5}{16}$	$33\frac{7}{8}$
40	10	$06\frac{1}{16}$		$35\frac{1}{16}$	35 -
38	$9\frac{1}{8}$	$07\frac{7}{16}$		37	$36\frac{15}{16}$
36	9	$10\frac{3}{16}$		$39\frac{5}{16}$	$38\frac{7}{8}$
34	$8\frac{1}{2}$	$12\frac{1}{16}$		$41\frac{1}{16}$	$41\frac{1}{16}$
32	8	$15\frac{1}{16}$		$44\frac{3}{16}$	$43\frac{11}{16}$
30	$7\frac{1}{2}$	$17\frac{13}{16}$		$47\frac{1}{16}$	$46\frac{3}{8}$
28	7	$21\frac{3}{16}$		$50\frac{1}{16}$	50 -
26	$6\frac{1}{2}$	$25\frac{3}{16}$		$54\frac{1}{16}$	$53\frac{10}{16}$
24	6	$29\frac{1}{16}$		$58\frac{13}{16}$	$58\frac{3}{8}$
23	$5\frac{3}{4}$	$32\frac{1}{16}$		$61\frac{1}{16}$	$60\frac{15}{16}$
22	$5\frac{1}{2}$	$34\frac{13}{16}$		$64\frac{1}{16}$	$63\frac{1}{16}$
21	$5\frac{1}{4}$	$37\frac{13}{16}$		$67\frac{1}{16}$	$66\frac{1}{4}$
20	5	$41\frac{1}{16}$		$70\frac{1}{16}$	70 -
19	$4\frac{3}{4}$	45 -		$74\frac{1}{16}$	$73\frac{11}{16}$
18	$4\frac{1}{2}$	$48\frac{13}{16}$		$77\frac{1}{16}$	$77\frac{1}{2}$
17	$4\frac{1}{4}$	$53\frac{11}{16}$		$82\frac{13}{16}$	$82\frac{1}{4}$
16	4	$58\frac{1}{16}$		$87\frac{1}{16}$	$87\frac{1}{8}$
15	$3\frac{3}{4}$	$63\frac{13}{16}$		$93\frac{1}{16}$	$93\frac{1}{2}$
14	$3\frac{1}{2}$	$71\frac{1}{16}$		$100\frac{1}{16}$	$99\frac{6}{8}$
13	$3\frac{1}{4}$	$78\frac{11}{16}$		$107\frac{13}{16}$	$107\frac{1}{16}$
12	3	$88\frac{7}{16}$		$117\frac{9}{16}$	$116\frac{1}{8}$

Added to $22\frac{1}{4}$ makes

Figura 17: Dados obtidos por Boyle, a coluna A é referente ao volume e E se trata da pressão, as unidades utilizadas não são conhecidas.

Os trabalhos de Boyle vieram para confirmar tudo aquilo que estava sendo dito e gradativamente provado acerca de conceitos como o peso do ar e a pressão atmosférica, afastando cada vez mais as concepções aristotélicas e auxiliando no estabelecimento deste novo paradigma.

4. Considerações finais

Após a realização do trabalho, tendo visto a dificuldade de reunir às informações aqui presentes, acredito que esta monografia será capaz de cumprir com seus objetivos: Servir como material de pesquisa para estudantes e o público em geral e principalmente servir como material pedagógico de apoio para professores do ensino fundamental e médio que tenham interesse em fazer com seus alunos uma abordagem histórica de como se deu esta grande mudança de paradigma.

Referências

<http://www.imss.fi.it/multi/torricel/le110644.html>

<http://oscientistas.wordpress.com/kit-os-cientistas/pascal-e-torricelli/>

B. Pascal (Great Books of the Western World) (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 192), p. 388.

R. Dugas, *O Nascimento de uma nova ciência: A Mecânica*, in História Geral das Ciências, O Século XVII, Tomo II, A Ciência Moderna, Editado por René Taton, Difusão Europeia do Livro, São Paulo, 1960.

G. Holton and S. Brush, *Introduction to concepts and theories in physical science*, trad.espanhola de J.AguilarPeris, Ed. Reverté, S/A, Barcelona, 1976.

Great Experiments in Physics, editadopor Morris H. Shamos, (Dover Publications, NY, 1987)

Tratados físicos de B. Pascal, traduzido por Roberto de Andrade Martins e publicado em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 1 (3 – número especial): 49-168, 1989.

ARISTÓTELES, FÍSICA; TRADUCCIÓN Y NOTAS: GUILLERMO R. DE ECHANDÍA; PLANETA De AGOSTINI © Editorial Gredos, S.A. (1995) ,Biblioteca Clásica Gredos.

Artigosconsultados

John B. West, *The original presentation of Boyle's law*, Department of Medicine, University of California at San Diego, La Jolla, California, Copyright 1999 the American Physiological Society.

Michael Fowler, Boyle's Law and the Law of Atmospheres, UVA 6/14/06.

C. Webster, *The Discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in Seventeenth Century*, Communicated by J. RAVETZ.

John B. West, *Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air*, Department of Medicine, University of California San Diego, La Jolla, California.

P.A. Redhead, *History of vacuum devices*, National Research Council Ottawa, Canada.

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

Viktor Harsch, *Otto von Guericke (1602 – 1686) and His Pioneering Vacuum Experiments*, Aviation, Space, and Environmental Medicine Vol. 78, No. 11 November 2007.

Anexos

As cartas abaixo foram retiradas dos tratados físicos de Blaise Pascal, traduzido para o português por Roberto de Andrade Martins e publicado em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 1 (3 – número especial): 49-168, 1989.

CÓPIA DA CARTA DO SENHOR PASCAL, O JOVEM, AO SENHOR PÉRIER, DE 15 DE NOVEMBRO DE 1647.

Senhor,

Eu não interromperia o trabalho continuo no qual vós estais empenhado para vos entreter com meditações físicas se não soubesse que elas se servirão para descansá-lo em vossas horas de lazer e enquanto que outros seriam atrapalhados por elas, vós vos divertireis. Sinto pouca dificuldade nisso, pois sei o prazer que tendes nesse tipo de entretenimento. Essa não será senão uma continuação daquelas que fizemos juntos com relação ao vazio. Sabeis qual é o sentimento dos filósofos sobre esse assunto: todos adotaram como máxima que a natureza tem horror ao vazio; e quase todos, indo mais adiante, sustentaram que ela não pode aceitá-lo e que ela preferiria destruir-se a si mesma do que aceitá-lo. Assim as opiniões se dividiram; uns se contentaram em dizer que ela tinha apenas horror, outros mantiveram que ela não poderia aceitá-lo. Trabalhei, em meu *Resumo do tratado do vazio*, para destruir essa ultima opinião e creio que as experiências que lá relatei são suficientes para fazer ver claramente que a natureza pode aceitar de fato um espaço, tão grande quanto se queira, vazio de todas as matérias por nós conhecidas e que são perceptíveis a nossos sentidos. Trabalho atualmente examinando a verdade da primeira e procurando experiências que façam ver se os efeitos que são atribuidos ao horror ao vazio devem realmente ser atribuidos a esse horror ao vazio, ou se deve sê-lo ao peso e pressão do ar; pois, para mostrar claramente meu pensamento, tenho dificuldade em acreditar que a natureza que não é animada, nem sensível, seja capaz de sentir horror, pois as paixões pressupõem uma alma capaz de senti-las e inclino-me mais a atribuir todos esses efeitos ao peso e pressão do ar, pois não os considero senão casos particulares de uma proposição universal do equilibrio dos liquidos, que deve tomar a maior parte do tratado que prometo. Não é que eu não tivesse esses mesmo pensamentos quando produzi o meu resumo; e, no entanto, à falta de experiências convincentes, eu não ousava então (e não ousa ainda) afastar-me da máxima do horror ao vazio e eu próprio empreguei essa máxima em meu resumo: não tendo então outro propósito senão de combater a opinião daqueles que sustentavam que o vazio é absolutamente impossível e que a natureza preferiria sofrer destruição do que aceitar o menor

espaço vazio. De fato, não considero que nos seja permitido afastar-nos não ser das máximas que recebemos da antiguidade por pouco que seja se formos obrigados a isso por provas indubitáveis e invencíveis. Mas nesse caso considero que seria uma extrema fraqueza ter o menor escrúpulo e que enfim devemos ter maior veneração pelas verdades evidentes do que obstinação pelas opiniões recebidas. Eu não teria um meio melhor para vos testemunhar a circunspeção que sempre trago antes de me afastar das antigas máximas, do que lembrar-vos a experiência que fiz esses dias atrás em vossa presença com dois tubos um dentro do outro que mostra aparentemente o vazio dentro do vazio. Vós vistes que o mercúrio do tubo interior permanecia suspenso à altura na qual se mantém pela experiência ordinária, quando era contrabalançado e pressionado pelo peso da massa inteira do ar e que, ao contrário, ele cai completamente sem que lhe reste altura nem suspensão, quando, por meio do vazio do qual ele foi cercado, ele não é mais pressionado nem contrabalançado por nenhum ar, tendo ele sido retirado de todos os lados. Vós vistes em seguida que essa altura ou suspensão do mercúrio aumentava ou diminuía à medida que a pressão do ar aumentava ou diminuía e que enfim todas essas diversas alturas ou suspensões do mercúrio, encontravam-se sempre proporcionais à pressão do ar.

Certamente, depois dessa experiência, poderíamos ser persuadidos de que não é o horror do vácuo, como o supomos, que causa suspensão do mercúrio na experiência ordinária, mas apenas o peso e pressão do ar que contrabalança o peso do mercúrio. Mas, já que todos os efeitos dessa última experiência de dois tubos, que se explicam tão naturalmente apenas pela pressão e peso do ar, podem ainda ser explicados de forma igualmente provável pelo horror do vazio, mantenho-me nessa antiga máxima, estando no entanto resolvido a procurar o total esclarecimento dessa dificuldade por uma experiência decisiva. Imaginei uma que sozinha poderá ser suficiente para nos proporcionar a luz que procuramos, se ela puder ser executada de modo correto. É de fazer a experiência ordinária do vazio várias vezes no mesmo dia, em um mesmo tubo, com o mesmo mercúrio, tanto na base como no topo de uma montanha, que tenha altura de pelo menos 500 ou 600 toesas, para verificar se a altura do mercúrio suspenso no tubo se encontrará semelhante ou diferente nessas duas situações. Vedes já, sem dúvida, que essa experiência é decisiva da questão e que, se ocorrer que a altura do mercúrio é menor no alto do que embaixo da montanha (como tenho muitas razões para crer, embora todos os que meditaram sobre esse assunto sejam contrários a esse sentimento), seguir-se-á necessariamente que o peso e pressão do ar são a única causa dessa suspensão do mercúrio e não o horror ao vácuo, pois é bem certo que existe muito mais ar que pesa sobre o pé da montanha do que em seu cume; no entanto não se poderia dizer que a natureza no pé da montanha tem maior horror ao vazio do que em seu topo.

Mas como ordinariamente a dificuldade se encontra unida as grandes coisas, vejo muitas na execução desse projeto, pois é preciso para isso escolher uma montanha excessivamente alta,

próxima de uma cidade na qual se encontre uma pessoa capaz de dar a esse teste toda a exatidão necessária. Pois, se a montanha estiver afastada, será difícil aí levar os recipientes, mercúrio, os tubos e muitas outras coisas necessárias, realizar essas viagens penosas tantas vezes quanto for preciso, para encontrar no alto das montanhas o tempo sereno e cômodo, que não ocorre a não ser às vezes. E como é igualmente raro tanto encontrar pessoas fora de Paris que tenham essas qualidades quanto lugares que tenham essas condições, considere-me feliz de ter, nessa ocasião, encontrado a ambos, pois nossa vila de Clermont esta ao pé da grande montanha do Puy de Dôme e espero que por vossa bondade vós me dareis a graça de desejar fazer vós mesmos essa experiência; estando certo disso, deixei todos os curiosos de Paris na expectativa, entre eles o reverendíssimo padre Mersenne, que já se comprometeu através de cartas escritas para a Itália, a Polônia, a Suécia, Holanda, etc., de participá-la aos amigos que ele adquiriu por seus méritos. Não descrevo os modos de executá-la, pois sei bem que vós não omitireis nenhuma das circunstâncias necessárias para fazê-la com precisão.

Rogo-vos apenas que seja feito o mais rápido possível e que perdoeis essa liberdade à qual sou obrigado pela impaciência que tenho em informar o seu sucesso, sem o qual não poderia dar os ultimos retoques ao tratado que prometi ao público, nem satisfazer o desejo de tantas pessoas que o aguardam e que vos serão infinitamente gratas. Não é que eu queira diminuir meu reconhecimento pelo número daqueles que o partilharão comigo, pois desejo, ao contrário, tomar parte daquele que eles vos terão e permanecer ainda mais,

Senhor,

Vosso muito humilde e muito obediente servidor,

Pascal.

De Paris, 15 de novembro de 1647.

CARTA DO SENHOR PÉRIER AO SENHOR PASCAL, O JOVEM

De 22 de setembro de 1648

Senhor,

Enfim fiz a experiência que esperais a tanto tempo. Eu vos teria dado essa satisfação mais cedo; no entanto, fui impedido, tanto pelas tarefas que tive em Bourbonnais, quanto por causa de

que, pelas neves ou neblinas que, desde a minha chegada, cobriram tanta a montanha do Puy de Dôme onde eu deveria fazê-la, que, mesmo nessa estação que é a mais bela do ano, tive dificuldade em encontrar um dia no qual se pudesse ver o cume dessa montanha, que se encontra ordinariamente dentro das nuvens e às vezes acima, embora ao mesmo tempo fizesse um bom tempo no campo: de modo que não fui capaz de reunir minha comodidade com a da estação antes do dia 19 desse mês. Mas a felicidade com a qual a fiz nesse dia me consolou plenamente do pequeno desprazer que me haviam dado tantos atrasos, que não fui capaz de evitar.

Forneço-vos aqui uma descrição ampla e fiel, onde vereis a precisão e os cuidados que lhe dei, aos quais considerei adequado reunir também a presença de pessoas tão sábias quanto acima de qualquer crítica, a fim de que a sinceridade de seu testemunho não deixasse nenhuma dúvida da certeza da experiência.

Relatório da experiência feita pelo Senhor Périer

O dia de sábado ultimo, dia 19 desse mês, foi bastante inconstante; no entanto, como o tempo parecia bastante belo às cinco horas da manhã e o cume do Puy de Dôme se mostrava descoberto, resolvi ir até lá para fazer a experiência. Para isso, avisei várias pessoas de boa condição dessa cidade de Clermont, que me haviam solicitado avisá-las sobre o dia em que eu lá iria, das quais algumas são eclesiásticos e outras leigos: entre os eclesiásticos estavam o muito reverendo padre Bannier, um dos padre mínimos dessa cidade, que várias vezes foi corregedor, quer dizer superior, e o Senhor Mosnier, cônego da igreja catedral dessa cidade; e, entre os leigos, os Senhores la Ville e Begon, conselheiros na corte das ajudas e o Senhor La Porte, doutor em medicina que a pratica aqui, todas pessoas muito capazes, não apenas em suas profissões, mas também em todos os belos conhecimentos, com os quais fiquei maravilhado de executar esse belo trabalho. Nos fomos portanto nesse dia, todos juntos, às oito horas da manhã, ao jardim dos padres Mínimos, que é quase o lugar mais baixo da cidade, onde a experiência foi iniciada da maneira seguinte.

Primeiramente, despejei em um recipiente dezesseis libras de mercúrio, que eu havia retificado nos três dias precedentes; e tendo tomado dois tubos de vidro de grossuras semelhantes e cada um com comprimento de quatro pés, selados hermeticamente em uma extremidade e abertos na outra, fiz, em cada um deles, a experiência ordinária do vazio nesse mesmo recipiente e, tendo aproximado e reunido os dois tubos um contra o outro, sem tirá-los para fora de seu recipiente, observou-se que o mercúrio que havia permanecido em cada um deles estava no mesmo nível e que havia em cada um deles, acima da superfície do vaso, 26 polegadas e 3,5 linhas. Refiz essa mesma experiência nesse mesmo lugar, com os dois mesmos tubos, com o mesmo mercúrio e no mesmo

recipiente duas outras vezes, encontrando-se sempre que o mercúrio dos dois tubos ficava no mesmo nível e a mesma altura que na primeira vez.

Isso feito, deixei na residência um desses dois tubos em seu recipiente em uma experiência contínua. Marquei no vidro a altura do mercúrio e, tendo deixado esse tubo no mesmo lugar, solicitei ao reverendo padre Chastin, um dos religiosos da casa, homem tão piedoso quanto capaz e que raciocina muito bem nesses assuntos, de ter o trabalho de aí observar, de momento em momento,, durante todo o dia, se ocorreria alguma mudança. E com o outro tubo e uma parte desse mesmo mercúrio, fui, com todos esses senhores, fazer as mesmas experiências no alto do Puy de Dôme, que está quinhentas toesas aproximadamente acima dos Mínimos, onde se encontrou que não restava mais no tubo senão a altura de 23 polegadas e 2 linhas de mercúrio, ao invés que nos Mínimos havia-se encontrado, nesse mesmo tubo, a altura de 26 polegadas e 3,5 linhas; e, assim, entre as alturas do mercúrio dessas duas experiências, existe uma diferença de 3 polegadas, 1,5 linha: o que nos maravilhou com admiração e espanto e nos surpreendeu de tal forma que, para nos satisfazermos totalmente, quisemos repeti-la. É por isso que eu a fiz ainda cinco outras vezes muito exatamente, em diferentes lugares do topo da montanha, tanto em um lugar coberto dentro da pequena capela que lá existe, quanto a descoberto, tanto ao abrigo quanto ao vento, tanto no bom tempo quanto durante a chuva e a neblina que nos envolviam às vezes, tendo em cada vez expurgado cuidadosamente de ar o tubo; sempre se encontrou a mesma altura do mercúrio de 23 polegadas e 2 linhas, que são 3 polegadas 1,5 linha de diferença em relação a 26 polegadas e 3,5 linhas que haviam sido encontradas nos Mínimos. Isso nos satisfez plenamente.

Depois, descendo a montanha, refiz no caminho a mesma experiência, sempre com o mesmo tubo, o mesmo mercúrio e o mesmo vaso, em um lugar chamado *A Fonte da Árvore*, bastante acima dos Mínimos, mas bastante abaixo do cume da montanha; e lá encontrei que a altura do mercúrio que permanecia no tubo era de 25 polegadas. Eu a refiz uma segunda vez nesse mesmo lugar e o acima citado Senhor Mosnier teve a curiosidade de fazê-la ele mesmo; ele a fez portanto nesse mesmo lugar e encontrou-se sempre a mesma altura de 25 polegadas, que é menos do que aquilo que se encontrou nos Mínimos por 1 polegada e 3,5 linhas e maior do que aquela que tínhamos acabado de encontrar no alto do Puy de Dôme de 1 polegada 10,5 linhas, o que aumentou bastante nossa satisfação, vendo a altura do mercúrio diminuir de acordo com a altura dos lugares.

Enfim, tendo retornado aos Mínimos, aí encontrei o recipiente que havia deixado em experiência contínua, na mesma altura na qual o havia deixado, de 26 polegadas e 3,5 linhas; o reverendo padre Chastin, que havia aí permanecido para observá-la, nos relatou que essa altura não tinha sofrido nenhuma mudança durante todo o dia, embora o tempo tenha sido bastante inconstante, às vezes sereno, às vezes chuvoso, às vezes cheio de névoa e às vezes ventoso.

Aí refiz a experiência com o tubo que havia levado ao Puy de Dôme e no vaso onde estava o tubo em experiência contínua; encontrei que o mercúrio estava no mesmo nível, nesses dois tubos, e à altura de 26 polegadas, 3,5 linhas como havia sido encontrado de manhã nesse mesmo tubo e como havia sido observado constantemente durante todo o dia no tubo em experiência contínua.

Eu a repeti ainda pela ultima vez, não apenas no mesmo tubo que havia levado sobre o Puy de Dôme mas ainda com o mesmo mercúrio e no mesmo recipiente que havia levado e encontrei sempre que o mercúrio ficava à mesma altura de 26 polegadas, 3,5 linhas, que havia sido encontrada de manhã. E isso nos manteve na certeza da experiência.

No dia seguinte o reverendíssimo padre de la Mare, padre do oratório e teólogo da igreja catedral que havia estado presente ao que havia se passado na manhã do dia precedente nos jardins dos Mínimos, e a quem eu havia descrito aquilo que havia acontecido no Puy de Dôme, me propôs fazer a mesma experiência ao pé e no alto da mais alta das torres da Notre-Dame de Clermont, para verificar se ocorreria uma diferença. Para satisfazer a curiosidade de um homem de tão grande mérito e que deu a toda França provas de sua capacidade, fiz no mesmo dia a experiência ordinária do vazio, em uma casa particular que está que está no mais alto lugar da cidade, elevado acima dos jardins dos Mínimos de seis ou sete toesas e ao nível do pé da torre: nós la encontramos que o mercúrio te a altura de aproximadamente 26 polegadas e 3 linhas que é cerca de 0,5 linha menor do que aquela que havia sido encontrada nos Mínimos.

Em seguida, eu a fiz no alto da mesma torre, que está 20 toesas acima de sua base e acima do jardim dos Mínimos cerca de 26 ou 27 toesas; aí encontrei o mercúrio a altura à altura de cerca de 26 polegadas e 1 linha que é cerca de 2 linhas a menos do que aquela que havia sido encontrada ao pé da torre e cerca de 2,5 linhas em relação àquela que havia sido encontrada nos Mínimos.

De modo que, para retomar e comparar as diferentes variações dos lugares, onde as experiências foram feitas, com as diferentes alturas do mercúrio que permaneceu nos tubos, encontra-se:

Que na experiência feita no lugar mais baixo, o mercúrio permaneceu a altura de 26 polegadas, 3,5 linhas.

Naquela que foi em um lugar com uma elevação em relação ao mais baixo de cerca de 27 toesas, o mercúrio se encontrou à altura de 26 polegadas e 1 linha.

Naquela que foi feita em um lugar elevado acima do mais baixo em cerca de 150 toesas, o mercúrio se encontrou à altura de 25 polegadas.

Naquela que foi feita em um lugar cerca de 500 toesas acima do mais baixo, o mercúrio se encontrou a uma altura de 23 polegadas e 2 linhas.

E, portanto, encontra-se que cerca de 7 toesas de elevação dão uma diferença na altura do mercúrio de 0,5 linha.

Cerca de 27 toesas: 2,5 linhas.

Cerca de 150 toesas: 15,5 linhas, que correspondem a 1 polegada e 3,5 linhas.

E cerca de 500 toesas: 37,5 linhas, que correspondem a 3 polegadas e 1,5 linhas.

Eis realmente tudo aquilo que aconteceu nessa experiência, da qual todos esses senhores que as assistiram vos assinarão o relatório quando assim o desejares.

De resto, tenho a vos dizer que as alturas do mercúrio foram tomadas muito exatamente; mas as dos lugares onde as experiências foram feitas, não o foram tão bem.

Se eu tivesse tido tempo e comodidade, eu as teria medido com mais precisão e até mesmo marcado lugares na montanha a cada 100 toesas, em cada um dos quais teria feito a experiência e marcado as diferenças que se tivesse encontrado na altura do mercúrio em cada uma dessas estações, para vos dar exatamente a diferença que teriam produzido as primeiras 100 toesas, aquelas que teriam sido as segundas 100 toesas e assim para as outras; o que poderia servir para elaborar uma tabela, por cuja extrapolação aqueles que quizessem se dar ao trabalho de fazê-lo poderiam talvez chegar ao perfeito conhecimento do exato tamanho do diâmetro de toda a esfera do ar.

Não perco a esperança de vos enviar algum dia essas diferenças de 100 toesas, tanto para nossa satisfação quanto pela utilidade que o público terá por ela.

Se vós encontrardes algumas obscuridades nessa descrição, eu vo-las poderei esclarecer pessoalmente em poucos dias, já que estou para fazer uma pequena viagem a Paris, onde vos assegurarei que sou,

Senhor,

Vosso muito humilde e muito afeiçoado servidor,

Périer.

De Clermont, 22 de setembro de 1648.

CARTA DE TORRICELLI A MICHELANGELO RICCI

Firenze, 11 de junho de 1644.

Muito ilustre Senhor e mestre caríssimo.

Enviei algumas semanas atrás demonstrações minhas sobre o espaço da ciclóide ao Sr. Antonio Nardi, pedindo-lhe que, depois de havê-las visto, enviasse-as diretamente a V.S ou então ao

Sr. Magiotti. Já lhe anunciei que estava sendo feita alguma experiência filosófica sobre o vácuo, não simplesmente para fazer o vácuo, mas para fazer um instrumento que mostrasse as mudanças do ar – ora mais pesado e grosso ora mais leve e sutil. Muitos disseram que o vácuo não pode ocorrer; outros que pode, mas com esforço e com repugnância da Natureza; ainda não conheço ninguém que haja dito que possa ocorrer sem esforço e sem resistência da Natureza. Eu pensava assim: se encontrasse alguma causa evidente que explicasse essa resistência que se sente ao tentar fazer o vácuo, parecer-me-ia inútil tentar atribuir ao vácuo esse efeito que claramente é devido a outra razão; e, fazendo certos cálculos fáceis, encontro que a causa admitida por mim (ou seja, o peso do ar) deveria por si só ser mais notável do que ela o é ao se tentar produzir o vácuo. Digo isso para que algum filósofo, vendo-se incapaz de fugir a essa confissão de que a gravidade do ar explica a repugnância sentida ao se fazer o vácuo, não dissesse que aceita o efeito do peso do ar mas persistisse em afirmar que a Natureza também contribui para a repugnância ao vácuo. Vivemos submersos no fundo de um abismo do elemento ar, o qual, por experiências indubitáveis, sabe-se que pesa: e tanto que, a essa grande vizinhança da superfície da Terra, pesa aproximadamente $1/400$ do peso da água. Os autores observaram, depois do crepúsculo, que o ar cheio de vapores e visível se eleva a cerca de cinquenta ou cinquenta e quatro milhas acima de nós; mas não creio que seja tanto, pois mostrarei que o vácuo deveria fazer uma resistência muito maior do que a que faz, se bem que se deve admitir a seu favor que o peso determinado por Galileo se aplica ao ar baixíssimo onde se movem os homens e os animais, mas que, acima dos cumes das altas montanhas, o ar começa a ser puríssimo e de peso muito inferior a $1/400$ do peso da água. Fizemos muitos vasos de vidro, como indicados em A e B, grossos e com o pescoço com comprimento de duas braças; (sendo) esses preenchidos de mercúrio, depois fechados pela boca com um dedo e invertidos em um vaso C no qual havia mercúrio, via-se que eles se envaziavam e que nada acontecia ao vaso que se esvaziava; no entanto, o pescoço AD ficava sempre cheio até a altura de uma braça e um quarto e mais uma polegada. Para mostrar que o vaso estava perfeitamente vazio, preenchia-se o vasilhame com água sobreposta (ao mercúrio) até D; e, erguendo o vaso pouco a pouco, via-se, quando a boca do vaso chegava à água, que o mercúrio descia do pescoço e ele se enchia de água, com impeto horrível, totalmente, até a marca E. Raciocinava-se: enquanto o vaso AE estava vazio e o mercúrio se sustentava – embora pesadíssimo – no pescoço AC, essa força que dirige o mercúrio contra sua natureza de cair para baixo, conforme se acreditou até agora, era interna ao vaso AE; ou ao vácuo, ou a essa matéria extremamente rarefeita; mas eu mantenho que é externa e que a força vem de fora. Sobre a superfície do líquido que está na bacia gravita a altura de cinquenta milhas de ar; devemos nos maravilhar se no vidro CE, onde o mercúrio não tem tendência nem repugnância, pois nada existe aí, ele entre e se eleve tanto que se equilibre com a gravidade do ar externo, que o empurra? Também a água em um vaso semelhante mas muito mais longo subirá até quase dezoito

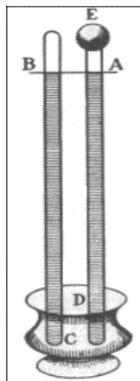
braças, isto é, tanto mais em relação ao mercúrio quanto o mercúrio é mais pesado do que a água, para equilibrar-se com a mesma causa que empurra um e outro. O raciocínio era confirmado pela experiência feita ao mesmo tempo com o vaso A e com o tubo B nos quais o mercúrio parava sempre na mesma horizontal AB – sinal quase seguro de que a força não estava dentro; pois o vaso AE teria mais força, onde havia mais matéria rarefeita e atrativa, e muito mais poderosa pela maior rarefação, do que aquela do pequeníssimo espaço B. Tentei, portanto, com esse princípio, explicar todo tipo de repugnância sentida nos vários efeitos atribuídos ao vácuo, não tendo, até agora, encontrado nada que não dê certo. Sei que surgirão muitas objeções a V.S., mas espero também que as superará pensando. Minha principal intenção, no entanto, não teve sucesso – a de conhecer quando o ar é mais grosso e pesado e quando é mais sutil e leve com o instrumento EC, pois o nível AB se altera por uma outra causa (que eu não poderia acreditar), ou seja, pelo calor e frio – e muito sensivelmente, como se o vaso AE estivesse cheio de ar.

Firenze, 11 de junho de 1644.

Sou muitíssimo devedor e obrigado

a vossa muito ilustre senhoria,

V. Torricelli.



http://www.ghc.usp.br/server/Sites-HF/Felipe-Lourenco/invencoes_arquivos/image007.gif - 06/01/2013

CARTA ESCRITA AO SENHOR CHARUT, RESIDENTE DE SUA MAJESTADE NA SUÉCIA SOBRE A EXPERIÊNCIA DO VAZIO, EM NOVEMBRO DE 1646, PELO SENHOR PETIT SUPERINTENDENTE DAS FORTIFICAÇÕES

Ao Senhor

Senhor Charut, conselheiro do Rei em seus conselhos e residente de Sua Majestade muito Cristã junto a Rainha da Suécia.

Senhor,

Mesmo se eu não tivesse outro assunto para escrever-vos na bela ocasião do retorno do Senhor Embaixador da Suécia, além de dar-me a honra de lembrar-vos de mim e de renovar o oferecimento de meu muito humilde serviço, eu não deixaria de fazê-lo e de vos testemunhar que partilho da alegria de todos vossos amigos pelos testemunhos que Sua Excelência proporcionou de vosso mérito e da satisfação que Sua Majestade da Suécia tem por vossos serviços. De fato, como ninguém poderia ocupar mais dignamente o lugar que ocupais do que vós mesmo, não há motivo para espanto se vós vos desempenhais das tarefas dignas dele com uma aprovação geral. Mas como sei bem que as almas constituídas como a vossa estão acima de qualquer elogio, e como sabeis também que a minha sempre fez o voto dessa liberdade filosófica que diz a verdade ingenuamente e com poucas palavras, temendo que elas sejam suspeitas de pedantismo, quando são exageradas, eu me contentaria em fazer-vos este pequeno cumprimento e em fazer-vos conhecer com que afeto me interessa por tudo o que vos toca.

E para vos participar aquilo que ocorre na França entre vossos amigos e no liceu dos curiosos e filósofos – embora não tenha dúvida de que tendes correspondências que vos notificam todas as novidades e boas coisas que são aqui feitas – dir-vos-ei uma feita por mim que não vos desagradará, relativa a uma experiência que o Padre Mersenne me disse ultimamente que quisestes fazê-la juntos mas que não suficientemente bem sucedida que pudesse satisfazê-los. É a experiência de Torricelli, sobre o vazio, com a qual quero vos entreter, se vossos afazeres mais sérios vos podem permiti-lo.

Sabei portanto, que, tendo-a feito particularmente há quatro ou cinco meses atrás, com um tubo de vidro de cerca de dois pés de comprimento, e tendo descoberto que não havia aí mercúrio suficiente para causar, por seu peso, um vazio muito sensível; e que o pouco que aparecia no alto do tubo poder-se-ia dizer, de acordo com a opinião comum, ser ar rarefeito, mesmo se antes ele não tivesse sequer o tamanho de um grão de alpeste, embora eu tivesse tomado todas as precauções suficientes; para concluir que não havia nada, fiz sua descrição a nosso bom amigo, Senhor Pascal, ao passar por Rouen; ele ficou encantado por ouvri falar de uma tal experiência – tanto por sua novidade, quanto porque sabeis que ele desde longo tempo admite o vazio; e como lhe disse que

ainda não estava totalmente satisfeito com essa experiência e que gostaria de refazê-la algum dia em que pudesse, com um tubo maior e com maior quantidade de mercúrio, para produzir, se fosse possível, um vazio maior por um maior peso, ele me rogou que pudesse ser seu espectador e que a fizéssemos juntos quando de meu retorno de Dieppe. Para vos dizer como sucedeu o caso pelo qual eu para lá me dirigia, que era para me assegurar da verdade das afirmações feitas desde 5 anos atrás por um homem de Marseille que diz descer ao fundo do mar e aí permanecer cinco ou seis horas por meio de certa máquina, em consideração ao que o Rei e o monsenhor Cardeal Richelieu lhe deram permissão de aí pescar e de lá tirar todas as coisas perdidas e abandonadas – isso seria me desviar muito de meu assunto e mergulhar em uma conversa tão alentada quanto a presente; continuarei apenas a história de nosso vazio e vos direi que, retornando a Rouen, fomos juntos a vidraria onde fiz fabricarem um tubo de quatro pés de comprimento e com a grossura interna do dedo mínimo e o fiz fechar por uma extremidade – ou selar hermeticamente, para falar nos termos da arte. Feito isso, fomos a um vendedor de drogas ou especiarias para nos fornecer a quantidade de mercúrio que nos seria necessária, de cerca de quarenta ou cinquenta libras. Com ele, com a ajuda de um pequeno funil de papel dobrado (pois esquecemos de mandar fazer um de vidro e os de ferro branco não valem nada aqui, por causa do estanho), preenchemos totalmente o nosso tubo, cuja extremidade de baixo, que estava tampada, estava dentro de uma pequena bacia de madeira bastante profunda e espaçosa (um pote de barro que não fosse tão longo e que fosse mais profundo teria sido melhor); tendo o tubo sido assim tudo preenchido de mercúrio, coloquei dentro da bacia a altura de três dedos de mercúrio e acima dele fiz colocar a mesma quantidade de água comum. Isso feito, ergui meu braço colocando o dedo médio sobre o furo do tubo, que estava tão cheio de mercúrio que ele jorrou quando o dedo ocupou seu lugar - e o erguemos muito docemente, sustentando-o embaixo e no meio, temendo que o peso o fizesse romper-se e para me ajudar. Depois, mantendo sempre o dedo firme e a mão no tubo, eu o mergulhei através da água no mercúrio até que meu dedo estivesse no fundo do vaso; ficamos então algum tempo examinando se havia alguma ar no topo (do tubo); não o vimos de modo algum – pelo contrário, ele estava visivelmente todo cheio de mercúrio; depois disso, retirando o meu dedo de baixo e deixando o tubo tocar o fundo do vaso, vimos o mercúrio descer e abandonar o alto do tubo, não de uma só vez e em um instante, nem muito lentamente, mas como água derramada em um filtro; e, o que é muito admirável, ele desceu mais de dezoito polegadas, que é um comprimento extraordinário – e eu nem teria jamais acreditado nisso, pois, na primeira vez, quando meu tubo era menor, não fez (um efeito) proporcional. Pusemo-nos a filosofar sobre isso antes de prosseguir e o filho do Senhor Pascal objetou que os simplícios poderiam dizer que esse espaço que parecia vazio era ar, o qual, para evitar o vazio, teria penetrado o vidro e entrado por seus poros; respondi-lhe que se poderia perguntar-lhes porque não entrava ainda mais e porque todo o mercúrio não caía, pois o ar poderia entrar no tubo pelos poros do vidro e substituir

todo o resto do mercúrio como já havia feito com uma parte; de tal modo, por que essa razão necessária e por muitas outras que provam que o vidro não é poroso nem penerável pelo ar, como o demonstram os termômetros por sua rarefação e condensação, causadas pelo frio e pelo calor, parece-nos que isso não poderia ser ar que penetrou pelos poros do vidro. Também para dizer que ele tivesse subido pela parte de baixo do tubo, seria preciso que ele primeiramente tivesse descido e passado através da água e do mercúrio, mais pesados do que ele e que, portanto, ele não poderia penetrar. Além disso, se tivesse podido passar uma certa quantidade do comprimento de dezoito polegadas, por que não teria a passado ainda mais? O que teria impedido a sua continuação, que seria mais fácil do que a entrada? Portanto, nada assegurava que fosse ar, nem havia razão para convencer que não era. Mas eis aqui o que parecerá decidir toda a questão. Depois que por muito tempo examinamos com espanto esse vazio aparente ou verdadeiro, tendo-o medido e marcando sobre o vidro, ergui-o docemente pelo alto e – coisa estranha – o vazio aumentou ainda de altura, tanto quanto havia de mercúrio no fundo do vaso, sem que o nível ou altura do mercúrio que estava no tubo mudasse de modo nenhum, nem subisse como eu acreditaria. Tendo-nos apercebido disso, fizemo-lo várias vezes e vimos sempre a mesma coisa, que deveis notar bem e que me deu a oportunidade de proucurar sua razão que logo vos direi e pedirei vossa opinião. Elevando portanto o tubo, o mercúrio que nele estava permaneceu como se estivesse suspenso e não o seguiu; mas o vazio aumentou enquanto e tanto quanto a extremidade de baixo subia no mercúrio do vaso; de tal forma que, após haver feito isso muitas vezes,, tendo elevado e abaixado o tubo no citado mercúrio para observá-lo, elevei-o finalmente até a região da água; logo que o mercúrio (do tubo) abandonou o mercúrio do fundo, ele (o mercúrio) caiu, desceu imediatamente todo de uma vez e a água subiu com grande velocidade até o alto do tubo, preenchendo todo esse espaço que antes parecia vazio ou cheio de ar, sem restar um só grão visível no alto (do tubo); eis como, em minha opinião, se pode discorrer a filosofar sobre isso. Se fosse o ar que, entrando pelos poros do vidro ou por baixo do tubo, tivesse preenchido esse espaço que vimos, de dezoito polegadas, por que a água que entrou por baixo teria subido nesse espaço e por que teria ela subido mais alto do que as dezoito polegadas? E por que teria ela expulsado o ar completamente do espaço que ele já havia ocupado e que não pertencia à água? Pelo contrário, ela fez um esforço para subir até lá, contra sua natureza. Nenhuma aparência justifica, portanto, que isso fosse ar que tivesse entrando no vidro e que a água, subindo, tivesse feito sair pelos poros; se ela tivesse descido ou fosse empurrada por uma força, haveria alguma coisa a favor desse mau julgamento. Como o efeito foi assim como vos digo, e como o Senhor Pascal estava há muito tempo persuadido dessa opinião de Heron e de muitos outros filósofos, ficou encantado por vê-la confirmada por essa experiência, por seus próprios sentidos. Mas, quanto a mim, disse-lhe que não acreditava que todos pudessem ficar satisfeitos com ele; pois, de acordo com a opinião comum que não admite o vazio, dirão sempre que aquilo que aparece

acima do mercúrio é ar extremamente rarefeito; e que uma pequena quantidade, do tamanho da cabeça de um alfinete, que pudesse ter permanecido no fundo do tubo, ou levado com o dedo quando foi levado ao orifício do tubo para tampá-lo – em resumo, que um átomo de ar, por assim dizer, seria capaz de se rarefazer e expandir não apenas até a quantidade das dezoito polegadas, mas a uma maior, se houvesse maior força para causar essa rarefação, ao invés de aceitar o vácuo da natureza; e que, portanto, essa experiência mais confirma e favorece sua opinião do que a destrói; pois, de fato, não se pode provar-lhes que não existe no tubo nenhum átomo de ar acima do mercúrio. E se lhes objetarmos por que a água que aí entra ocupa então todo o lugar que parecia vácuo, de modo que não se vê nenhum ar, poderão responder que essa pequena partícula de ar que estava tão rarefeita se condensa e retorna a seu estado e lugar inicial, que não pode ser visto porque existe muito pouco: e assim não saberíeis o que dizer para convencê-los, a menos que lhes demonstrasse que não há nada realmente e que não permaneceu nem entrou no tubo nenhuma partícula. E se, depois, lhes perguntarmos por que esse ar, então, não se rarefez ainda mais, até a base do tubo para deixar o mercúrio descer totalmente, poderão também perguntar por que não se fez um vácuo com mais de dezoito polegadas; e assim quase nada se pode objetar-lhes que eles não devolvam com igual força. Mas vou parar de vos entreter tanto com o contra e o a favor e de filosofar sobre um assunto sobre o qual só tenho o propósito de vos descrever o fato e desenvolver ingenuamente a história e o processo verbal da experiência que fizemos, para obter, se vos aprovar, vossos sentimentos sobre meu relatório ou sobre aquilo que virdem vós mesmo, quando vos derdes ao trabalho de fazê-la, como a descrevi. Mando-vos intencionalmente todas as particularidades e dificuldades encontradas nisso, para que, se o Senhor Embaixador – ao qual falei sobre isso – e Sua Majestade da Suécia – a quem agradam todas as coisas belas – quiserem ter esse prazer, vós o possais proporcionar-lhes sem falha e tirardes juntos e com os mais hábeis da Suécia as consequências que julgardes melhores.

Não contentes com essa experiência, fizemo-la ainda duas vezes e sempre encontramos precisamente a mesma coisa; mas como nelas observei algumas condições que são boas de saber, vou descrevê-las. A primeira é que o interior do tubo esteja bem seco e que nele não se tenha soprado nem colocado água; por isso, na segunda vez em que se quiser fazer essa experiência, como entrou água na primeira, é preciso aquecer o tubo de modo que toda a água e umidade que esta dentro se evapore e que ele fique seco. Em segundo lugar, que o mercúrio que aí colocais não tenha sido misturado à água, pois, embora esses dois corpos não se misturem, no entanto algumas pequenas gotas de água que a ele se prendem formam pequenas bolhas no tubo e rompem a continuidade do mercúrio. Isso poderia dar aos peripatéticos o pretexto de dizer que é daí que vem a pretensa rarefação. Em terceiro lugar, é preciso que o pote ou bacia no qual colocais o mercúrio e a água seja profundo e de abertura suficientemente larga para que o braço passe facilmente. Por fim,

quanto mais mercúrio houver no fundo desse pote, mais bela será a experiência; é preciso ter, pelo menos, três ou quatro polegadas, para que, elevando e abaixando o tubo nesse espaço, veja-se o pretensio vazio aumentar e diminuir – sobre o que, como vos disse, farei uma descrição particular. Observareis portanto que, quando todo o mercúrio que podia cair caiu até certa altura, e quando o alto do tubo ficou vazio, por assim dizer, em certo comprimento, esse mesmo vazio permanece sempre, enquanto o tubo permanecer nesse estado. Lembro-me que, durante a experiência, quando alguém perguntou por que em todas as vezes o mercúrio não desceu mais o Senhor Pascal e eu respondemos que se deveria dizer que a natureza não pode suportar um vazio maior ou maior rarefação, como os outros dizem; mas percebi depois que a nossa resposta era falsa, embora não tivéssemos o tempo para refletir sobre isso, nem de raciocinar sobre essa bela experiência, tendo sido separados pela noie e pela obrigação que eu tinha de partir na manhã seguinte. Lembrei-me, como disse, que não era correto dizer que a natureza limitava seu vazio ou o ar sua rarefação e que não se podia fazer um maior do que o que tinha sido feito no tubo: pois nós mesmos o havíamos visto sofrer um aumento igual à altura do mercúrio do fundo do vaso, elevando (o tubo) nele até a água e plausivelmente o teríamos aumentado ainda mais se o mercúrio tivesse uma maior altura. Portanto, a quantidade de vazio ou a rarefação não era determinada em tal ou qual medida mas dependia da força do agente que a causa; de tal forma que o peso do mercúrio que estava no tubo (para continuar nesse exemplo), possuindo apenas a força de baixar sua altura e de causar, por seu peso de queda, até certa quantidade de vazio ou de rarefação, não devemos nos espantar que ele produzisse sempre o mesmo e não mais; e quando foi produzido mais no tubo, foi por causa de um outro agente ou força maior do que o peso do mercúrio, a saber: a força do braço que, elevando mais o tubo, até a região da água, deixou o mercúrio no mesmo lugar e produziu o mesmo efeito que se ele tivesse sido puxado por baixo tanto quanto o tubo foi elevado para o alto, quer dizer, causou um maior espaço vazio ou de rarefação. Em minha opinião, esta é a resposta justa que se deve dar a essa dúvida; para verificá-la, seria necessário comparar a força que se emprega para elevar o tubo nesse estado, com o peso do mercúrio que resta dentro – prendendo o citado tubo de um lado de uma balança e colocando do outro o peso necessário para fazer essa elevação – pois não tenho dúvidas de que seja preciso (um peso) maior do que o do mercúrio do tubo, embora pareça que, sendo de uma natureza fluida, ele não deveria impedi-lo de subir. Se alguma vez refizer aquela experiência, farei também esta, que será muito fácil; e penso que não vos será aborrecido lê-las, desde que seja no intervalo de lazer que vossas ocupações mais sérias poderão proporcionar. Eu jamais pensaria em vos escrever tanto, se o Padre Mersenne não me houvesse assegurado que haveis tentado juntos fazer essa mesma experiência. Creio que vistes aquelas que fizemos, o Senhor Gassendi e eu, da queda dos corpos na balança; e eu gostaria de ter tempo disponível para publicar as que fiz sobre os pesos e refrações de quase todos os corpos diáfanos, sólidos e líquidos – veríeis ai a

exatidão e a novidade que se pode tirar de belos princípios físicos. Mas percebo o tamanho extraordinário em que fico vos deduzindo bagatelas, enquanto deveria ter dedicado esse número de linhas ao elogio dessa grande Rainha, que todos aqui admiramos, e à qual eu me sentiria feliz de servir em todos os lugares onde a honra de suas ordens me pudesse enviar, como o fui igualmente ao oferecer meus serviços ao grande Gustavo, seu glorioso pai, e receber dele tais honras, mais de vinte anos atrás, que não esqueceria nem em mil, se pudesse vivê-los. Se me julgardes capaz de lhes prestar algum serviço, seja na procura de livros, de que ela envie alguma lembrança, seja em qualquer outro emprego, suplico-vos muito humildemente de lembrar-vos (de mim). O Senhor Embaixador deixa aqui tal reputação de seu mérito e virtudes eminentes que eu não seria capaz de dizer sobre ele nada que não estivesse aquém da verdade; quanto a mim, recebi tantos testemunhos da honra de sua bondade e tanta satisfação de sua companhia que jamais deixarei de torná-lo público. Pode-se dizer que ele me causou a primeira tristeza que jamais tive de estar preso à França, pois ela me privou da honra de segui-lo por toda parte – o que eu teria feito com o melhor sentimento que eu jamais tive, pelo tanto que ele ganhou minhas inclinações por seus encantos; e peço-lhe que lhe testemunhe meus sentimentos em relação a ele e o modo como vos escrevi sobre isso. Mas a propósito de livros, fiz-lhe um pequeno pacote; e, embora no começo ele só quisesse comédias e romances, cuja leitura já abandonei há muito tempo atrás, fi-lo aceitar quarenta ou cinquenta belos volumes de outros assuntos próprios a seu uso, de acordo com o catálogo que podereis ver, com o projeto de um ballet que vos rogo examinar e para cuja execução estou certo de que contribuireis muito. Aproveisse a Deus que me fosse permitido ir até aí para ser tanto intendente quanto espectador como o faria com todo meu coração. Mas devo terminar com essa aspiração, rogando-vos honrar-me sempre com vossas boas graças e assegurando-vos que jamais ninguém foi nem será mais do que eu,

Senhor,

Vosso humilde e mui afeiçoado servidor,

Petit

Em Paris, 26 de novembro de 1646.

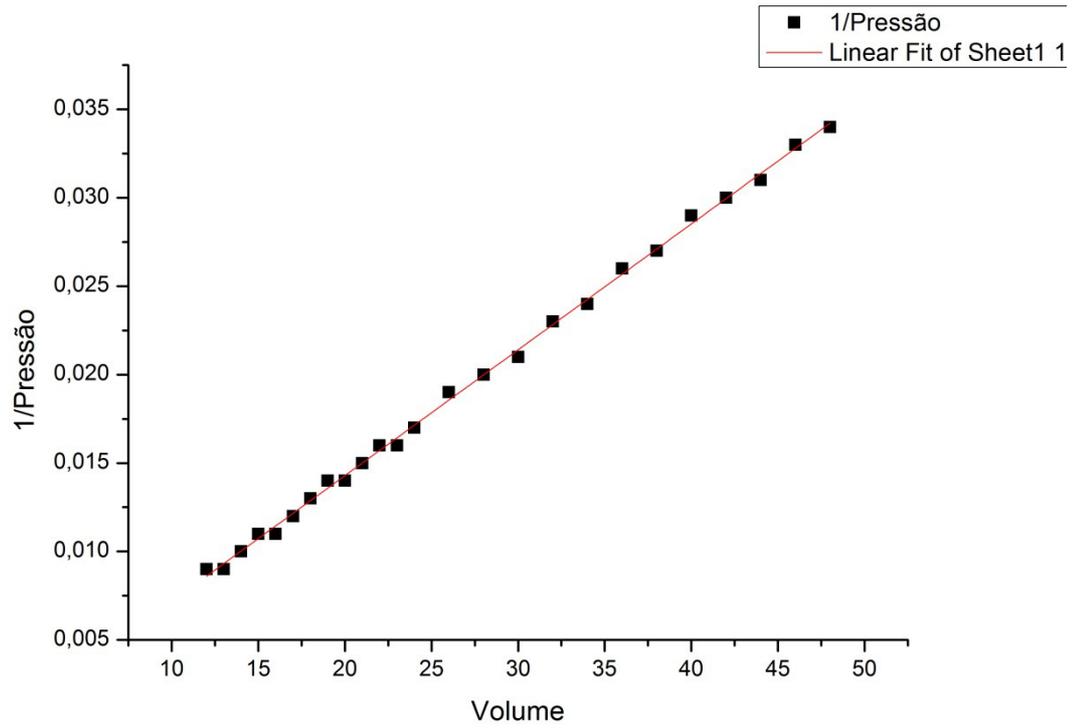
Tópico Especial: Usando os dados de Boyle.

Como vimos no desenvolvimento do texto, Boyle chegou a uma relação de que a pressão é inversamente proporcional ao volume. Para chegar a essa conclusão vimos que Boyle realizou um experimento onde foram coletados dados de pressão e volume, conforme tabela anexada. Com base nestes dados, sugerimos aqui uma atividade prática bastante interessante que poderia ser utilizada com os alunos. Trata-se de utilizar os dados obtidos por Boyle e com eles esboçar o gráfico do inverso da pressão pelo volume, constatando assim que realmente existe uma proporcionalidade, para tanto espera-se que o gráfico obtido seja uma reta. A atividade pode ser utilizada distribuindo aos alunos papel milimetrado e orientando-os durante o esboço do gráfico.

Abaixo segue uma nova tabela, obtida através da original de Boyle, onde foram utilizados os dados das colunas A e E para volume e pressão respectivamente:

Volume	1/Pressão	Volume	1/Pressão
48	0,034	23	0,016
46	0,033	22	0,016
44	0,031	21	0,015
42	0,030	20	0,014
40	0,029	19	0,014
38	0,027	18	0,013
36	0,026	17	0,012
34	0,024	16	0,011
32	0,023	15	0,011
30	0,021	14	0,010
28	0,020	13	0,009
26	0,019	12	0,009
24	0,017		

Os dados fracionários de Boyle foram aqui colocados de uma forma mais simples de ser trabalhada, a notação decimal. Os números decimais foram escritos com três casas de precisão. Abaixo segue o gráfico plotado com os dados constantes na tabela acima:



O gráfico acima foi plotado utilizando o software Originlab 8.5, observa-se que a reta obtida é bastante boa, confirmando assim a afirmação de Boyle de que a pressão é inversamente proporcional ao volume.