

DEMONSTRAÇÃO EXPERIMENTAL DO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO DA TERRA

LEON FOUCAULT

As páginas e as ilustrações, que aqui reproduzimos, datam de pouco mais de um século; apareceram num dos números de "L'Illustration", de abril de 1851. Através delas, o próprio autor explica, aos leitores de seu tempo, os fundamentos e os detalhes da famosa experiência, que o tornou para sempre célebre.

Trata-se de um documento de indiscutível interesse, que o Boletim Paulista de Geografia sente muita satisfação em oferecer aos seus leitores.

O pêndulo simples é uma abstração pura, uma criação do espírito, impossível de ser realizado materialmente; supômo-lo formado de uma molécula pesada, suspensa a um fio flexível, inextensível e sem espessura, preso superiormente a um ponto fixo, e destinado a manter uma distância constante entre este ponto fixo e a molécula. A flexibilidade perfeita do fio, no ponto em que se acha preso, permite à molécula mover-se sobre a superfície de uma esfera tendo o fio como raio e o ponto fixo como centro. Na prática, podemos nos aproximar o mais possível das condições do pêndulo simples substituindo a molécula pesada por uma esfera metálica muito densa, e o fio matemático por um fio o mais esticado, capaz de resistir à ruptura. Munido de semelhante pêndulo, o físico verifica, muito aproximadamente, as leis que a mecânica indica como devendo representar a marcha do pêndulo simples. É assim que tal pêndulo, afastado da vertical em dois ou três graus e abandonado a si mesmo, passa e torna a passar por essa vertical, descrevendo, de um lado e de outro, uma longa série de oscilações decrescentes em amplitude, embora as durações permaneçam sensivelmente as mesmas, desde as maiores até as menores.

Essa propriedade fundamental do pêndulo, descoberta por Galileu e designada pelo nome de isocronismo, tem sido objeto, há mais de dois séculos, de inumeráveis observações; e Huyghens, aplicando o pêndulo ao relógio, fez deste o mais precioso instrumento para a medida do tempo. Entretanto, aproveitando-se do pêndulo, a relojoaria fê-lo sofrer uma modificação, que mascarou uma outra propriedade notável, de que acabamos de tirar partido — a que consiste em guardar fielmente seu plano de impulsão inicial. Aplicando o pêndulo aos relógios, julgou-se cômodo suspendê-lo, não mais a um fio, mas através de uma faca ou de uma lâmina, que o obriga a executar suas digressões em um plano determinado por construção e orientado fixamente em relação às peças imóveis da máquina, do que resulta que o pêndulo dos relógios não mais oscila livremente em torno de um ponto sobre uma superfície de esfera, mas seguindo um arco e em torno de um eixo fixos.

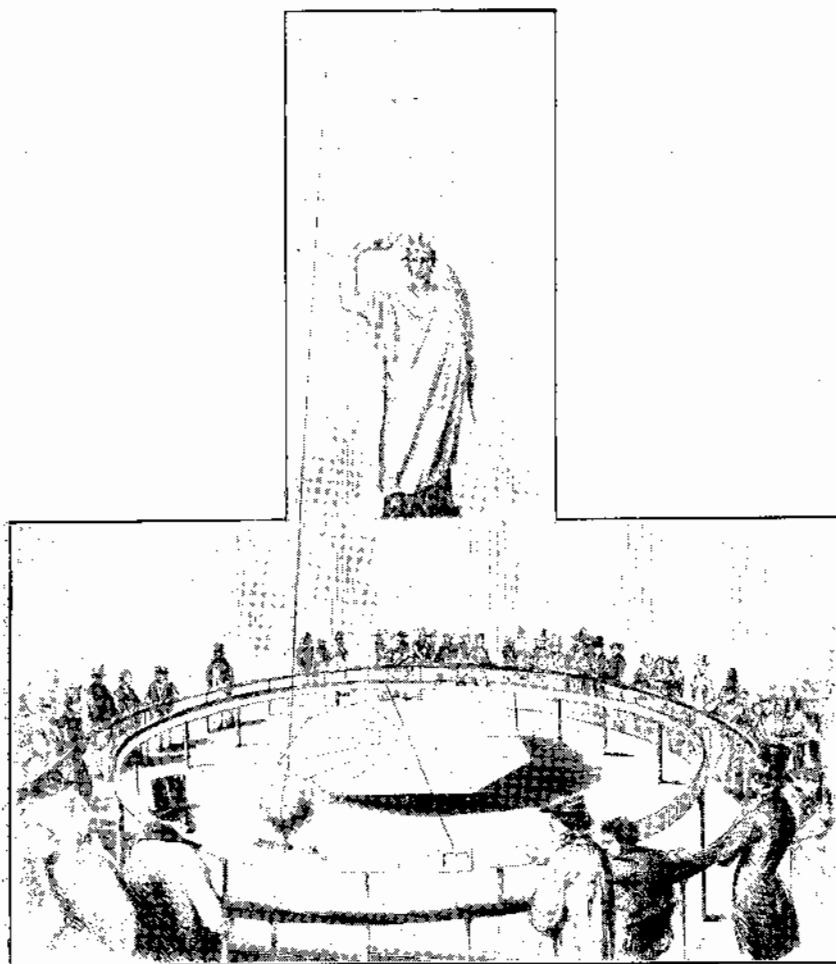


FIG. 1

Aparelho construído por Léon Foucault, no Pantheon, para a demonstração do movimento de rotação da Terra.

Para pôr em evidência o movimento da Terra, torna-se necessário romper essa solidariedade do plano de oscilação com o ponto de prisão, e voltar ao pêndulo livre; torna-se preciso libertar o admirável instrumento de Galileu dos laços que habitualmente o prendem à Terra e restituir-lhe, com sua independência original, suas relações naturais com o espaço absoluto. Uma esfera bem redonda, suspensa a um ponto fixo por um fio metálico o mais possível fino, homogêneo e exatamente cilíndrico, tal é, até o momento, em toda sua simplicidade galilaica, o mais apropriado instrumento capaz de dar ao homem uma prova sensível da rotação do globo em que habita. Desde que entra em movimento, esse pêndulo passa a fazer parte, de certa maneira, dos espaços celestes; e, se ainda mantém-se preso por um ponto à Terra, isto serve apenas para que fique sob os olhos do espectador e lhe forneça um testemunho de sua própria mobilidade.

Aliás, é fácil provar pela experiência até que ponto pode-se contar com a independência do plano de oscilação.

Antes de nos dedicarmos ao movimento da Terra, o qual, por sua própria lentidão, força-nos a recorrer a aparelhos muito desenvolvidos, instalemos sobre u'a mesa, que poderá ser movimentada à vontade, um pequeno pêndulo — uma bola de chumbo suspensa por um fio. O compartimento, onde fizermos a experiência, será para nós o Universo; o movel representará a Terra. O pêndulo, preso a um suporte, funcionará por sobre um círculo atravessado por diferentes diâmetros, cujo ponto de intersecção corresponde à direção do pêndulo em repouso. O pêndulo, o suporte e o círculo constituem um todo solidário, um aparelho completo, que, de início, colocamos ao centro da mesa. Tomamos, a seguir, a bola de chumbo; afastamo-la de sua posição de equilíbrio, seguindo a direção de um dos diâmetros do círculo; depois abandonamo-la a si mesma e passamos a observá-la (fig. 2). Que acontece, então? A coisa mais simples e evidente do mundo. Logo que se torna livre, o pêndulo avança em direção ao ponto central, ultrapassa-o em virtude da velocidade adquirida e volta ainda, passando e tornando a passar, até à expiração de seu movimento, por cima daquele centro e oscilando em um plano invariável na direção do mesmo diâmetro sobre o qual teve lugar o afastamento inicial. Se procurarmos tomar seus pontos de referência fora da mesa, nas paredes do compartimento, constataremos igualmente a imobilidade do plano de oscilação. Na entanto, se, enquanto o pêndulo funciona, fizermos girar dócemente a mesa sobre si mesma, sem sacolejar, quais serão as relações do plano de oscilação, quer para com os objetos tomados fora deste movel, quer para com os raios do círculo dividido? Qual seria a resposta que vós todos, que ainda não tivestes oportunidade de fazer tal experiência, daríeis a esta pergunta? Não vos parece, à primeira vista, que o plano de oscilação, influenciado pelo movimento da mesa, irá mudar de direção no compartimento, conservando a mesma posição relativa por sobre seu círculo dividido? Erro profundo! O que acontece é justamente o contrário. O plano de oscilação não é um objeto material; ele não pertence nem ao suporte nem à mesa; pertence ao espaço, ao espaço absoluto. O movimento comunicado aos objetos materiais, que cercam o pêndulo, altera suas relações com seu plano de oscilação, do que resulta que a rotação da mesa tem simplesmente por efeito fazer passar sucessivamente os diferentes diâmetros do círculo dividido sob o plano de oscilação, que permanece invariável.

Mas, dir-se-á, o globo da Terra, sensivelmente esférico, pode ser comparado, em seu movimento de rotação, a essa mesa plana, que foi manobrada no meio de um salão? Torna-se necessário observar que a comparação só poderá ser considerada como exata se supuzermos o pêndulo instalado no próprio polo da Terra ou em uma região de tal maneira próxima, que não se tenha de levar em conta a curvatura da Terra. Desde que nos afastemos notavelmente do polo, verifica-se uma complicação proveniente do fato de que a ver

tical, inclinada em relação ao eixo do mundo, descreve em 24 horas uma superfície cônica e muda incessantemente de direção no espaço. Alterando, assim, de direção, ela leva consigo o plano de oscilação que a contém sempre e que, desde então, não pode mais, como nas experiências de pequeno âmbito, permanecer paralela a si própria. Diante disso, convém abandonar a partida, atirar-se inteiramente na análise pura, renunciar a penetrar pela observação direta do espírito na intimidade do fenômeno? Esta não é a nossa opinião.

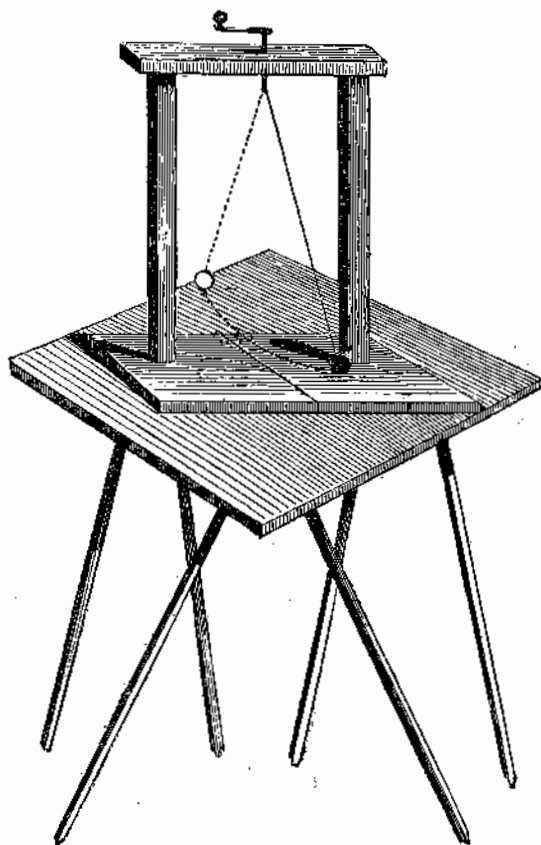


FIG. 2

Demonstração da independência do plano de oscilação.

Tomemos uma esfera; marquemos nela dois polos opostos; tracemos um círculo de latitude, representando o que passa por Paris. Em um ponto deste círculo, imaginemos um pequeno pêndulo oscilando no plano do meridiano: a partir do momento em que o globo passa a girar, a vertical inclina-se para fora do plano de impulsão inicial; desde então, o plano de oscilação muda, mas a inércia da matéria está sempre lá, pois não perde seus direitos; ela reduz ao mínimo o ângulo que mede a inclinação do plano de oscilação, considerado em

duas posições sucessivas correspondentes a duas direções infinitamente vizinhas da vertical. Guiados por tais considerações, fomos levados a construir, sobre um círculo de latitude qualquer uma série de pequenas linhas sensivelmente paralelas umas às outras, representando os traços do plano de oscilação em suas posições diversas, e após comparar suas direções com os diferentes meridianos por elas cruzados concluímos:

1.º — que, para um observador colocado no solo, o desvio do plano de oscilação tem lugar em sentido inverso do movimento da Terra;

2.º — que o movimento do plano de oscilação, igual no polo ao movimento da Terra, diminui à proporção que nos aproximamos do equador, onde torna-se nulo, e que se realiza em sentido oposto nos dois hemisférios;

3.º — que a velocidade angular do plano de oscilação é igual à da Terra, multiplicada pelo seno da latitude do lugar em que o mesmo se opera, do que resulta que esta velocidade é uniforme, e que o plano de impulsão inicial é realmente arbitrário.

A experiência, executada primeiramente em miniatura em uma habitação particular, reproduzida depois no Observatório em proporções maiores, acabou, enfim, de conformidade com os benévolos desejos do Presidente da República (*), por ser levada a efeito sob a cúpula do Panteon.

No ponto mais alto da cúpula, ornada com as pinturas de Gros, encontrava-se uma tampa, uma espécie de cobertura, a qual, uma vez retirada, deixou escancarada uma abertura circular de um metro e meio de diâmetro. Começou-se por lançar de través, de uma borda à outra, como uma ponte de uma só peça, um forte pranchão de abeto de 40 centímetros de largura, e encheu-se com um assoalho o espaço livre de cada lado. No meio do pranchão, abriu-se um furo alargado para baixo, cuja eixo se confunde com o da cúpula (fig. 3).

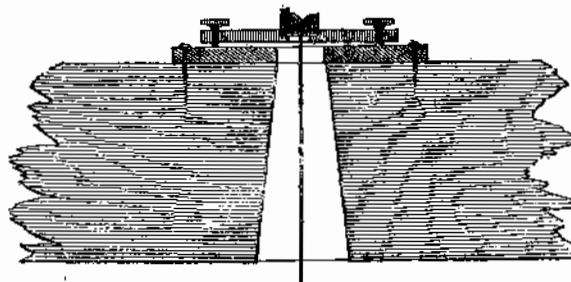


FIG. 3

Suspensão do pêndulo

É por este furo que passa um fio de aço, com 67 metros de comprimento e preso às peças metálicas colocadas por sobre a superfície superior do pranchão. Ao mesmo tempo que se trabalhava ativamente no sentido de consolidar assim o ponto de atilho, passou-se a ocupar o espaço ocupado no solo pelo mosaico e circunscrito pela rampa de acajú. A fim de evitar os acidentes, que poderiam resultar do rompimento do fio e do choque da massa por ele suportada, recobriu-se o mosaico com um assoalho, sobre o qual depositou-se

(*) Trata-se do príncipe Luís Napoleão Bonaparte, que viria a ser o imperador Napoleão III (Nota do tradutor).

uma camada de terra de uma vinteza de centímetros de espessura. Ao mesmo tempo, levantou-se mais ou menos à altura da rampa um círculo de madeira com seis metros de diâmetro, dividido em graus e quartos de graus, e centrado sob a vertical correspondente ao ponto de suspensão. Além disso, construíram-se duas calotas hemisféricas, utilizando uma forte chapa de latão; reunindo-as através de uma sutura equatorial e enchendo-as de chumbo, obteve-se um globo muito denso, que, com um diâmetro de 18 centímetros, pesa 28 quilos. Tal globo, armado de um prolongamento pontegudo, foi preso à extremidade livre do fio metálico, o qual, sob a influência do esforço exercido por um peso tão considerável, encurtouse ainda de mais 5 a 6 centímetros (fig. 1).

Assim constituído, o pêndulo foi posto em movimento com todas as precauções requeridas para garantir a retidão de sua marcha; e, após uma dupla oscilação de 16 segundos de duração, viu-se que o mesmo retornava a cerca de 2 milímetros e meio para a esquerda do ponto de partida. O mesmo efeito, tendo continuado a produzir-se para cada oscilação, o desvio foi se tornando maior, sempre proporcionalmente ao tempo, e pôde-se avaliar claramente, sobre o círculo graduado como no corpo móvel, armado de sua ponta, que continuou a ultrapassar, de uma parte e de outra, os índices móveis colocados sobre a divisão; todavia, quando as oscilações diminuíram de amplitude, o fenômeno tornou-se menos fácil de ser observado: isto porque collocou-se, no meio do círculo, u'a mesa de extensão bem menor, cuja superfície horizontal é atravessada por uma série de diâmetros, que se cortam entre si sob o ângulo de 5 graus. Por este meio, o plano das oscilações, por menores que sejam, pode ser seguido em seu movimento aparente durante cinco ou seis horas.

Durante o primeiro quarto de hora, seguinte à primeira impulsão, julgamos cômodo, para tornar mais evidente a demonstração, colocar no bordo do círculo pequenos montículos de areia fina, sobre os quais o pêndulo pratica, em sua primeira passagem, uma brecha que se vai alargando progressivamente, após as successivas passagens, e deixa assim um traço material do movimento da Terra, considerado paralelamente ao horizonte no decorrer da experiência (fig. 4).



FIG. 4

Cortes feitos pelo pêndulo sobre os montículos de areia.

Até o momento, o aparelho apenas funcionou para a demonstração; em nossa opinião, isto já é muito, porque, à vista desse público esclarecido que tem vindo espontaneamente acotovelar-se por sobre a rampa interior do Pantheon, é evidente que não seremos os únicos a aproveitar do favor que nos foi feito, como também recorrecê-lo e apreciá-lo condignamente.

(Traduzido de *L'Illustration, Journal Universel*, nº 423, vol. XVII, págs. 213-214, publicado em Paris em 5 de abril de 1851.)