

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Galileo e o princípio da relatividade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (9): 69-86, 1986.

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

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-27.pdf>>

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

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Galileo e o princípio da relatividade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (9): 69-86, 1986.

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

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-27.pdf>>

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

GALILEO E O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE

ROBERTO DE ANDRADE MARTINS

Instituto de Física "Gleb Wataghin"
Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência
Universidade Estadual de Campinas

1 INTRODUÇÃO

Denomina-se comumente "princípio de relatividade de Galileo" a afirmação de que é impossível detectar-se algum efeito físico de um movimento uniforme de translação de um sistema físico, por experiências internas a esse sistema; ou seja: para experiências realizadas dentro de um sistema, seu movimento de translação, se for uniforme, não pode ser notado.

A fonte mais comumente citada como origem do princípio de relatividade de Galileo (CLAVELIN 1968, cap. 5; TONNELAT 1971; GROSS 1974) é seu livro *Diálogo . . . sobre os dois principais sistemas do mundo . . .* (GALILEI, *Dialogo*, 1964). Entre outras passagens importantes, encontra-se a descrição da experiência do navio, muitas vezes reproduzida, e que faz parte do "segundo dia" do *Diálogo* (GALILEI 1964, v. 2, 372; GALILEI, *Dialogue*, 1967, 186). Nessa passagem, Galileo descreve várias experiências que poderiam ser realizadas no interior de um cômodo de um navio e que, esteja ele parado ou em movimento, dão o mesmo resultado, não permitindo, portanto, determinar o estado de movimento do navio.

No contexto da obra em que aparece essa descrição, Galileo preocupa-se basicamente com a defesa do sistema heliocêntrico de Copérnico e o conseqüente ataque ao sistema de Ptolomeu e à física de Aristóteles. Para que o movimento da Terra seja aceitável, é necessário que ele seja compatível com a experiência cotidiana que nos mostra que tudo se passa como se a Terra estivesse imóvel; por isso o princípio da relatividade era um elemento essencial para que o sistema de Copérnico se tornasse aceitável. O contexto da passagem que contém a experiência do navio mostra essa vinculação; e ela é explicitamente colocada por Galileo (1964, v. 2, 372; 1967, 186) sob a forma de um título marginal da seção: "Experiência que, sozinha, mostra a nulidade de todas as apresentadas contra o movimento da Terra".

Tudo isso é bem conhecido. No entanto, muitos aspectos históricos do surgimento do princípio de relatividade são pouco estudados. O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

1. estudar os precedentes históricos, pré-galileanos, do princípio de relatividade;
2. estudar a evolução do pensamento de Galileo sobre essa questão;
3. discutir a validade da argumentação apresentada por Galileo.

2 ARISTÓTELES, PTOLOMEU E O MOVIMENTO DA TERRA

Aristóteles, no tratado *Sobre o Céu* (*De Caelo*), discute a questão do movimento da Terra (*De Caelo*, II. 14). Ele nos informa que, antes dele, várias doutrinas haviam sido propostas, seja defendendo o movimento da Terra, seja defendendo sua imobilidade. O próprio Aristóteles defende a imobilidade terrestre, e apresenta, para tanto, argumentos de muitos tipos. Alguns deles são teóricos e baseiam-se em sua concepção dos movimentos naturais. Não trataremos aqui dessas justificações. Interessa-nos principalmente o seguinte argumento (*De Caelo* 296b, 21-7) que invoca a experiência:

É claro, portanto, que a Terra deve estar no centro [do universo] e imóvel, não apenas pelas razões já indicadas, mas também porque corpos pesados atirados forçadamente [violentamente] para cima, [em direção] bem reta, retornam ao ponto de onde partiram, mesmo se forem atirados a uma distância infinita. Dessas considerações torna-se claro que a Terra não se move e não está em um lugar diferente do centro.

Esse famoso argumento de Aristóteles será repetido e ampliado por todos os defensores posteriores da imobilidade da Terra. Ele é, de fato, um forte argumento: se a Terra se movesse, ao atirmos um corpo verticalmente para cima, deveríamos esperar que a Terra saísse de sua posição inicial, enquanto o corpo estivesse no ar; e que, portanto, quando ele retornasse ao solo, já não poderia cair no ponto de origem. Somente o desenvolvimento de novas concepções mecânicas iria, muito depois de Aristóteles, invalidar esse argumento.

Também no *Almagesto* encontramos argumentos experimentais contra o movimento da Terra. Ptolomeu (1952, I. 7) aceita que, no que se refere a observações das estrelas, seria possível tanto supor a Terra em repouso quanto em movimento, mas que o movimento da Terra é incompatível com os fenômenos observados perto de sua superfície (1952, 12):

... em relação aos fenômenos das estrelas, nada talvez impedisse que as coisas estivessem de acordo com essa simples conjectura [do movimento de rotação da Terra], mas à vista daquilo que ocorre em torno de nós no ar, tal noção parece completamente absurda.

Ptolomeu (1952, 12) nos informa logo depois algumas dessas consequências absurdas:

... todas as coisas que não estivessem em repouso sobre a Terra pareceriam ter um movimento contrário a esse [ao movimento da Terra], e nunca se veria uma nuvem mover-se para leste, nem qualquer outra coisa que voasse ou que fosse atirada para o ar. Pois a Terra sempre as ultrapassaria em seu movimento para leste, e assim todos os corpos pareceriam ser deixados para trás e mover-se para oeste.

Ptolomeu discute uma possível solução do problema: poder-se-ia dizer que a atmosfera é arrastada pelo movimento da Terra e que o ar, por sua vez, arrasta os corpos que estão nele; por isso, nada pareceria mover-se para oeste. Mas Ptolomeu descarta essa explicação, pois, nesse caso, se o ar tem o poder de arrastar os corpos, não poderia existir o movimento dos corpos ou projéteis através do ar: todos teriam de ficar pa-

rados em relação à Terra, podendo talvez, no máximo, cair, mas incapazes de se deslocar para leste ou para oeste. Como na prática é possível atirar-se projéteis para leste ou para oeste, vê-se que o ar não impede o movimento desses corpos e que não seria, portanto, capaz de arrastá-los, se a Terra girasse.

3 NICOLE ORESME E SUA DEFESA DO MOVIMENTO TERRESTRE

Vamos saltar um milênio. No século XIV, em meio ao grande número de traduções, comentários e tratados sobre a ciência aristotélica, Nicole Oresme redigiu um comentário ao tratado *Sobre o Céu* de Aristóteles. Esse trabalho de Oresme (*Traité*), cujo manuscrito data de 1377, foi estudado e reproduzido parcialmente por DUHEM (1909; 1958, v. 9, 330). Aí se encontra uma ótima discussão dos argumentos contra o movimento da Terra e uma crítica a esses argumentos, onde Oresme procura mostrar que nenhuma experiência permite provar que a Terra está em repouso. Pela importância e originalidade do trabalho de Oresme, vale a pena estudar detalhadamente suas idéias.

Após haver exposto as idéias de Aristóteles e sua tentativa de demonstrar a imobilidade da Terra, Oresme (DUHEM 1958, 330) expõe sua própria opinião nos termos que traduzo quase literalmente do francês arcaico:

Não se poderia provar por experiência alguma que o Céu se move com movimento diário, e não a Terra. Mas, sob toda correção, parece-me que se poderia bem sustentar e dar cor à última opinião, a saber, que a Terra se move com movimento diário, e o Céu não. E, primeiramente, eu desejaria declarar que não se poderia mostrar o contrário por qualquer experiência; em segundo lugar, nem por razões; e, em terceiro lugar, dar a razão disso.

Após anunciar sua intenção, Oresme (DUHEM 1958, 330) começa descrevendo os três principais argumentos contra o movimento da Terra:

1. vemos o céu, as estrelas, o Sol, a Lua e os planetas girando em torno da Terra e, portanto, o céu tem um movimento diário;
2. se a Terra girasse, sopraria um vento muito forte do oriente, pois a Terra iria mover-se em relação ao ar;
3. a experiência proposta por Aristóteles, que ele assim descreve:

A terceira é a encontrada por Ptolomeu: pois quem estivesse em um navio que se movesse muito rapidamente para o oriente e atirasse uma seta bem reta para cima, ela não cairia na nave, mas bem longe do navio, para o ocidente; e de forma semelhante, se a Terra se move tão rapidamente girando do ocidente para o oriente, desde que lançássemos uma pedra bem reta para cima, ela não cairia no lugar de onde ela parte, mas bem longe para o ocidente; e o contrário é percebido, de fato.

Note-se que Oresme modifica um pouco a argumentação de Aristóteles e Ptolomeu, introduzindo uma experiência realizada em um navio. Essa alteração do argumento, muito em voga na Idade Média, parece ter sido originada na obra de algum comentador de Aristóteles (talvez Simplício), a qual acabou sendo atribuída ao próprio Aristóteles ou a Ptolomeu, como aqui.

Para responder aos três argumentos, Oresme procura, primeiramente, mostrar que os movimentos relativos são os únicos que podem ser observados (DUHEM, 1958, 331):

Então, eu suponho que o movimento local não pode ser percebido sensivelmente a não ser tanto quanto se percebe que um corpo esteja [em movimento] olhando-se para outro corpo. E por isso, se um homem está em um navio chamado A, que se move muito suavemente, rápida ou lentamente, e se esse homem não vê outra coisa, além de um outro navio chamado B, que seja movido de forma totalmente semelhante ao modo como [se move] A, no qual ele está, eu digo que parecerá a esse homem que um e outro [navios] não se movem; e se A está em repouso e B é movido, parece-lhe e assemelha-se que B é movido; e se A é movido e B fica em repouso, parece-lhe, como antes, que A está em repouso e que B é movido.

Oresme atribui a Witelo essa idéia geral¹. Aplicando-a ao céu e à Terra, Oresme conclui que tanto no caso em que a Terra se mova e o céu esteja parado, quanto no caso oposto, as pessoas colocadas na Terra diriam que o céu se move, e pessoas porventura colocadas no céu diriam que a Terra se move. Portanto, a aparência de movimento celeste não prova a imobilidade da Terra.

Essa primeira argumentação de Oresme era bem conhecida na época. De fato, sob o ponto de vista puramente astronômico, ou seja, quando se tenta apenas prever as posições aparentes dos astros, é indiferente supor-se que a Terra se move ou que ela está parada. Seria apenas através de experiências realizadas na própria Terra que se poderia descobrir se ela está em repouso ou em movimento. Oresme volta-se então para o argumento do vento e dá uma resposta curta (DUHEM 1958, 332):

A segunda [experiência] aparece a resposta por isso: segundo essa opinião, a Terra não é movida sozinha, mas com a água e o ar, como é dito; embora a água e o ar daqui de baixo possam ser movidos de outra forma pelos ventos ou pelas outras causas; e é semelhante como se um navio se movesse e nele houvesse ar guardado; pareceria àquele que estivesse em tal ar que ele não se move.

Ou seja: o ar realmente pode estar se movendo para o oriente, com a Terra, mas não percebemos esse movimento, pois é um movimento *comum* do ar e da Terra.

Por fim, Oresme discute o argumento dos projéteis (DUHEM 1958, 332):

À terceira experiência, que parece mais forte, da seta ou pedra lançada para cima etc., dir-se-á que a seta atirada para o alto, com esse movimento, é movida para o oriente muito rapidamente com o ar através do qual ela passa e com toda a massa da parte baixa do Mundo, antes indicada, que se move com movimento diurno; e por isso a seta recai no lugar da Terra de onde partiu.

E tal coisa parece possível por semelhança; pois, se um homem estivesse em um navio movido para o oriente muito rapidamente sem que ele percebesse esse movimento e esticasse sua mão fazendo-a descer e descrever uma linha reta contra o mastro do navio, parece-lhe-ia que sua mão não se moveu a não ser com um movimento reto; e assim também, segundo essa opinião, parece-nos da seta que desce ou sobe reta para baixo ou para cima.

Aqui parece uma idéia importantíssima: o movimento da seta ou do projétil *parece* reto, mas não é — há ao mesmo tempo um movimento vertical e outro horizontal, acompanhando a Terra (ou o navio). O único movimento observável pela pessoa que

¹ Trata-se de um livro sobre perspectiva, de Witelo (século XIII), onde é natural que se tenha discutido apenas a relatividade óptica dos movimentos.

está na Terra (ou no navio) é o movimento do qual ele não participa. Oresme generaliza sua idéia (DUHEM 1958, 332-3):

Igualmente, dentro do navio assim movido como foi dito, podem existir movimentos longitudinais, transversais, para o alto, para baixo, de todas as maneiras, e pareceriam ser em tudo como se o navio repousasse. . . ; e de modo semelhante, no caso colocado antes, todos os movimentos aqui em baixo pareceriam ser como se a Terra repousasse.

Como bom conhecedor da física aristotélica, Oresme sabe o tipo de objeção que poderia ser colocada às suas idéias — é impossível que um só corpo tenha dois movimentos ao mesmo tempo. Ou ele se move verticalmente, ou em rotação em torno do centro — a idéia de composição de movimentos é estranha à física de Aristóteles. Por isso, Oresme dá um exemplo em que a própria física aristotélica levaria à composição de movimentos. Suponhamos que a Terra esteja em repouso e que o céu gire. O fogo tende a subir, segundo Aristóteles. Mas, se subisse e escapasse à região do ar que está em repouso, ele continuaria a subir e ao mesmo tempo iria adquirir um movimento circular da região do céu onde está. Se isso não é absurdo, também não é absurdo supor que a pedra ou a seta pudessem ter dois movimentos simultâneos, um vertical e outro circular. Oresme conclui (DUHEM 1958, 333):

Concluo, portanto, que não se poderia por experiência alguma mostrar que o céu tem um movimento diário e que a Terra não é movida assim.

Essa exposição mostra claramente que Oresme possuía uma visão próxima da moderna sobre o princípio de relatividade dos movimentos. Falta a Oresme, apenas, a idéia de inércia, que permite justificar o acompanhamento da Terra pelos projéteis. Na concepção de Oresme, os projéteis parecem acompanhar a Terra apenas por pertencerem à sua esfera, por formarem com ela uma certa unidade. É possível que Oresme admitisse que, se a Terra cessasse de mover-se, os corpos à sua volta também cessariam imediatamente seu movimento.

4 COPÉRNICO E GIORDANO BRUNO

A obra manuscrita de Oresme parece ter circulado amplamente na Universidade de Paris, no século XIV. Entre os que a leram estão, segundo Duhem, Jean Buridan, Albert de Saxe e Pierre de Ailly. Nenhum deles concorda com Oresme (DUHEM 1958, 355). No ponto crucial da experiência dos projéteis, Buridan é incapaz de acompanhar Oresme e utiliza um argumento muito semelhante ao de Ptolomeu: quando uma flecha fosse atirada para cima com grande violência, o ar não seria capaz de arrastá-la, assim como o vento é incapaz de arrastar completamente uma flecha atirada através dele, embora seja capaz de desviá-la um pouco (BULLIOT 1914; DUHEM 1958, 350). O argumento de Oresme não pressupõe que a seta seja arrastada pelo ar; tenta, apenas enfatizar que um corpo em movimento muito rápido e violento deixa de pertencer ao seu meio e que, portanto, a seta já não poderia ser considerada como pertencente ao sistema Terra + ar + água e não teria motivo para acompanhar a Terra.

De qualquer forma, a argumentação de Oresme parece não ter sido convincente e, dois séculos mais tarde, Copérnico teve que apresentar bons motivos para justificar

o movimento da Terra e negar seu repouso. Em parte, a argumentação de Copérnico é semelhante à de Oresme, mas ele adiciona ainda razões teóricas pelas quais tenta mostrar que é preferível considerar que a Terra, e não o céu, está em movimento.

Como Oresme, Copérnico (COPERNICUS, *Revolutions*, I. 8, 519; KOYRÉ 1966, 166-71) supõe que o movimento de projéteis é composto de movimento vertical e horizontal (circular):

Devemos confessar que em relação ao universo o movimento de corpos que caem ou sobem é duplo e é, em geral, composto do retilíneo e do circular.

O movimento circular da Terra seria seu movimento natural, segundo Copérnico, e as partes da Terra teriam por isso uma tendência a acompanhar esse movimento circular. Ou seja: não há em Copérnico a idéia de um movimento por inércia mas algum tipo de acompanhamento de um movimento natural.

É na obra de Giordano Bruno que poderemos encontrar um avanço em relação a essa posição.

Na *Ceia dos penitentes*, Bruno defende o sistema de Copérnico, discutindo irreverentemente as doutrinas aristotélicas. Em uma seção do diálogo, Bruno discute os argumentos do ar e das nuvens, dando a resposta tradicional de que o ar é arrastado pela Terra; e passa então ao problema dos projéteis. Após expor a dificuldade tradicional, Bruno coloca nos lábios de Teófilo a seguinte resposta²:

(Teófilo:) Todas as coisas que estão na Terra movem-se com ela. Se, portanto, de um lugar fora da Terra fosse lançada alguma coisa à Terra, pelo movimento desta aquela [coisa] perderia a retidão [isto é, não cairia verticalmente]. Como se verifica no navio *AB*, o qual, passando pelo rio, se alguém, que se encontra na sua margem *C*, lhe atirar diretamente uma pedra, errará sua mira, por quanto vale a velocidade da corrida. Mas se alguém, colocado sobre o mastro do dito navio, que corra com a velocidade que se queira, [o fizer] sua mira não falhará, de modo que a pedra ou outra coisa lançada irá diretamente do ponto *E*, que está no topo do mastro, ou na gávea, ao ponto *D* que está na raiz do mastro, ou a qualquer parte do corpo do navio. Assim, se do ponto *D* alguém que está dentro do navio atira ao ponto *E* diretamente uma pedra, ela retornará para baixo pela mesma linha, mova-se o navio quanto se queira, desde que ele não se incline.

Bruno afirma aqui que, para os fenômenos mecânicos internos ao navio, sua velocidade é irrelevante. A pedra largada do topo do mastro cairá na base do mastro e, da mesma forma, apesar do movimento da Terra, uma pedra largada do alto de uma torre cairá à base da torre. Somente se a pedra fosse largada por alguém fora da Terra, que não se move com ela, seria possível notar-se, da Terra, um movimento de queda que não pareceria vertical.

Mas por que a velocidade da Terra ou do navio não influi nos fenômenos? Será por causa do ar arrastado ou motivo semelhante? Bruno (*Cena*, 251-2) vê claramente que não, e afirma mais adiante:

²BRUNO 1956, 250-1; ver, também, KOYRÉ 1966, 171-82; MICHEL 1973, 190-3; MASSA 1973. A primeira edição da *Cena* é de 1584.

(Teófilo:) Ora, para voltar ao assunto, supõe-se que haja então duas [pessoas], das quais uma se encontra dentro do navio que corre, e a outra, fora dele, e que tanto uma quanto a outra tenham a mão perto do mesmo ponto do ar e, que do mesmo lugar, ao mesmo tempo, um deixe cair uma pedra e o outro outra; sem que lhe dêem qualquer empurrão, a do primeiro, sem perder um ponto nem desviar sua linha, atingirá o lugar prefixado, e a do segundo irá encontrar-se deslocada para trás. O que não decorre senão que a pedra que sai da mão daquele que é sustentado pelo navio, e que conseqüentemente move-se segundo o movimento dele, tem uma virtude impressa, que não tem a outra, que procede da mão daquele que está fora; e isso apesar de as pedras possuírem a mesma gravidade, atravessarem o mesmo ar, partirem (se tal fosse possível) do mesmo ponto e possuírem o mesmo empurrão. Não podemos dar outra razão a essa diversidade a não ser a de que as coisas que estão fixas ou que de forma semelhante pertençam ao navio movem-se com ele; e uma pedra leva consigo a virtude do motor que se move com o navio, e a outra, a daquele que não tem tal participação. Disso se vê manifestamente que a virtude de andar em linha reta não é obtida nem do ponto de onde se parte, nem do ponto para onde se vai, nem do meio no qual se move, mas da eficácia da virtude impressa primeiramente, da qual depende toda a diferença.

Bruno exprime aqui com bastante clareza a idéia de inércia. Seu linguajar pode parecer estranho e até metafísico, mas é preciso lembrar que ao usar a palavra “virtude impressa”, ele está utilizando o mesmo termo que Newton (*Mathematical principles*, Definition 3, 5) depois veio a utilizar, em latim (*vis*), para indicar a inércia (*vis inertiae*).

Portanto, no racionalismo de Bruno, as experiências mecânicas realizadas em um navio não são influenciadas pelo movimento do navio, porque todos os corpos do navio participam de seu movimento; e isso ocorre, mesmo se eles não estão encostados ao navio, por causa da “virtude impressa” a eles, e que se mantém. Ou seja, nessa argumentação de Bruno já se encontram os elementos básicos do princípio de relatividade.

Note-se que, se o navio modificar seu movimento, enquanto um projétil está no ar, o projétil não poderá acompanhar essa alteração e por isso seu movimento em relação ao navio será diferente. Bruno o compreendeu, e é por esse motivo que indicou claramente que o navio não deve inclinar-se ou oscilar.

Em grande parte, Bruno antecipa, assim, os argumentos que Galileo utilizou mais tarde. Galileo jamais citou o nome de Giordano Bruno, fosse em suas obras publicadas, fosse em seus manuscritos ou correspondência pessoal³. É estranho que isso tenha acontecido, pois, na correspondência de Galileo, pode-se notar que Kepler e outros correspondentes o citaram. É pouco plausível que Galileo não tenha conhecido a obra tão polêmica de Bruno, que defendia idéias tão semelhantes às suas. Até mesmo a forma de diálogo, utilizada por Bruno em suas obras mais populares, será empregada

³ Pode-se verificar essa afirmação, examinando-se o índice analítico colocado no último volume das obras completas de Galileo, onde todas as referências a Giordano Bruno remetem a cartas e escritos de outros autores, nunca do próprio Galileo. CLAVELIN (1968, 259, nota 80) atribui essa falta de citação a razões de prudência. Ver, também, GROSS 1974, 536. Parece-me difícil que a prudência pudesse explicar a ausência de referência a Bruno, mesmo na correspondência e nas anotações pessoais de Galileo, em que ele parece exprimir-se com total liberdade.

por Galileo. Não é possível que não houvesse influência alguma de Bruno em seu pensamento e em sua obra, mas jamais saberemos o quanto Galileo deve a ele.

5 TYCHO BRAHE E KEPLER

Aparentemente, os argumentos de Giordano Bruno — como, antes dele, os de Oresme — não chegaram a convencer muitas pessoas. Assim é que, para citar apenas um exemplo célebre, Tycho Brahe defendia a imobilidade da Terra por argumentos essencialmente iguais aos de Aristóteles e de Ptolomeu. Ele simplesmente negava o resultado empírico previsto por Giordano Bruno, na experiência do navio (apud KOYRÉ 1966, 183):

Os que acreditam que uma bala lançada para o alto no interior do navio em movimento retorna ao mesmo lugar como se o navio estivesse em repouso, eles se enganam fortemente. De fato, a bala ficará para trás, tanto mais quanto mais rapidamente se desloque o navio.

Defendendo a imobilidade da Terra, Tycho Brahe modernizava também o argumento de Ptolomeu, substituindo setas por canhões (KOYRÉ 1966, 185):

A experiência nos mostra que balas de mesmo peso e tamanho, lançadas em um e em outro sentido [leste e oeste] por uma mesma quantidade de pólvora de canhão de mesma força, atingem aproximadamente o mesmo espaço da superfície terrestre, tanto para o Oriente quanto para o Ocidente, se forem, como já disse, atiradas com a mesma inclinação do canhão, e desde que o ar esteja bastante tranqüilo e não haja causa acidental favorecendo ou impedindo esse impulso; ora, no entanto, pelo movimento extremamente rápido da Terra (se ele existisse), a bala atirada para o oriente não poderia jamais percorrer um espaço igual sobre a superfície da Terra, que por seu movimento avança diante dela, quanto aquela que da mesma maneira fosse lançada para o Ocidente. . .

Não são só os autores que negam o movimento da Terra, como Tycho, que parecem ignorar o peso da argumentação de Bruno, mas mesmo Kepler, defensor do movimento da Terra, utilizou argumentos de outro tipo para defender o copernicanismo. Para Kepler, o movimento terrestre não é observado por seus habitantes, porque ela possui certo tipo de força magnética, que se estende pelo espaço em torno de sua superfície e que arrasta ou procura arrastar junto com a Terra os corpos de sua proximidade. Se um corpo pudesse afastar-se da Terra, raciocina Kepler, essa influência seria menor e seria possível notar-se os efeitos da rotação da Terra. Mas, para corpos próximos à superfície da Terra, o arrastamento é total, e o movimento da Terra não altera os fenômenos (apud KOYRÉ 1966, 189):

Assim, aquilo que é atirado perpendicularmente no ar recairá em seu lugar, não sendo impedido de fazê-lo pelo movimento da Terra, a qual não pode afastar-se de baixo [do corpo], mas arrasta com ela todas as coisas que voam no ar, que estão tão ligadas [à Terra] pela força magnética quanto se lhe estivessem contíguas.

Embora em um ou em outro ponto de suas obras Kepler pareça compreender as idéias de inércia e de composição do movimento, a leitura de suas obras dá uma forte impressão de que, para ele, é o efeito de arrastamento magnético (*raptus*) que é essencial.

6 GALILEO: OBRAS DE JUVENTUDE

Vejamos agora como essas questões aparecem no desenvolvimento da obra de Galileo, principiando pelos seus trabalhos mais antigos. É natural, interessante e instrutivo seguir essa evolução de idéias sobre a relatividade dos movimentos, embora nenhum dos autores que consultei o faça.

As obras completas de Galileo contêm um pequeno livro denominado *Tratado da esfera ou cosmografia*, publicado postumamente e que parece ter sido um texto elaborado por ele para seus alunos, no início de sua carreira em Pádua (após 1592). Nessa obra, descreve e *defende* as teorias de Aristóteles e Ptolomeu sobre o universo. Um dos artigos desse tratado (GALILEI, *Sfera*, 223) é denominado: “Que a Terra é imóvel”, e começa assim:

A presente questão é digna de consideração, sendo que não faltaram grandes filósofos e matemáticos que, considerando ser a Terra uma estrela, fizeram-na móvel. No entanto, nós seguiremos as opiniões de Aristóteles e de Ptolomeu, e forneceremos as razões pelas quais se pode acreditar que ela [a Terra] é completamente estacionária.

Galileo resume então, de modo simples e claro, os argumentos clássicos, incluindo também as novidades de Tycho. Cito apenas uma parte importante (*Sfera*, 224):

(. . .) se deixássemos cair para baixo, de lugares altos, coisas como uma pedra do topo de uma torre, ela não cairia mais na raiz da torre; pois no tempo durante o qual o corpo, descendo perpendicularmente [verticalmente], estivesse no ar, a Terra, subtraindo-se e movendo-se para o oriente, recebê-lo-ia em um lugar muito distante da torre; assim como, se o navio caminha muito rapidamente, a pedra que cai do topo do mastro não cai ao pé, mas para o lado da popa. E isso se veria ainda mais claramente nas coisas lançadas perpendicularmente para cima, as quais, ao descer, cairiam muito longe de quem as jogou; e assim a flecha atirada com arco diretamente para o céu, não recairia perto do arqueiro, o qual, enquanto isso, levado pelo movimento da Terra, teria se deslocado um grande espaço para o oriente.

É importante observar que, na mesma época (aproximadamente 1593), Galileo compôs um outro texto didático, *Tratado sobre os mecanismos (Meccaniche)*, no qual descreve a lei de inércia, ou algo muito semelhante a ela, ao dizer que um corpo liso, sem atrito, pode mover-se num plano horizontal quando submetido a uma força mínima; e que para esse corpo o movimento ou o repouso são indiferentes (*Meccaniche*, 18)). No entanto, no estudo do sistema de Ptolomeu, Galileo não considera indiferente o movimento da Terra. Os dois tipos de questões, tão intimamente relacionadas, ainda parecem ser, nessa época, para ele, completamente independentes.

7 GALILEO CONTRA LUDOVICO DELLE COLOMBE

A correspondência entre Galileo e Kepler atesta que, em 1597, Galileo defendia, pelo menos de forma privada, o sistema de Copérnico. Após 1609, os estudos por ele realizados com o uso do telescópio astronômico tornaram-se dos mais fortes e decisivos contra o sistema de Aristóteles-Ptolomeu. Mas, certamente, em 1610, Galileo ainda não dispunha de argumentos teóricos contra a física aristotélica.

Sabe-se que, nessa época, Galileo dedicava-se a colecionar um bom número de livros a favor e contra o sistema de Copérnico. Entre as obras encontradas posteriormente em sua biblioteca, encontra-se uma cópia do *Discurso contra o movimento da Terra*, de Ludovico delle Colombe, datado de 1610, repleto de anotações marginais, através das quais se pode captar o pensamento de Galileo nessa época.

Após um amplo preâmbulo literário, muito ao gosto da época, Ludovico introduz o argumento de Tycho Brahe (in GALILEI, *Opere*, 1930-4, v. 3.1, 255; *Opere*, 1843, 342):

Uma [peça de] artilharia, com a boca voltada para o oriente, com o movimento da Terra, ao atirar, enviaria a bala a pequena distância, pois, enquanto a bala estivesse suspensa no ar, a Terra levaria a artilharia com tanta velocidade em direção a essa bala, que, antes de sua queda, ela seria alcançada pela artilharia.

E Galileo (*Opere*, 1843, 379; *Opere*, 1930-4, v. 3.1, 255) anota na margem do livro:

Seria melhor dizer que não poderia atirar, pois a Terra leva a artilharia diante da bala: e é uma maravilha que nós possamos urinar, correndo tão velozmente diante da urina; ou pelo menos deveríamos urinar para baixo, pelo joelho.

Essa observação é curiosa, mas não é uma boa resposta a Ludovico.

Em outro ponto, (*Opere*, 1843; 379-80; *Opere*, 1930-4, v.3.1, 256), Galileo tenta explicar a igualdade de alcance dos dois tiros de canhão por uma idéia vaga de adição de velocidade:

(...) a força de pólvora (...) é sempre a mesma, mas aplicada, uma vez, à bala que já corre velozmente para o Oriente e, na outra vez, à bala que vai contra o ímpeto do fogo.

Aqui ele parece perceber a necessidade de considerar que a velocidade transmitida pelo canhão se adiciona ou subtrai a uma outra velocidade da bala, que tende a se conservar. Isso exige uma concepção de inércia, que Galileo logo utilizava em outra anotação (*Opere*, 1843, 380; *Opere*, 1930-4, v. 3.1, 256):

Estando um barco parado, coloque-se uma superfície plana em equilíbrio, como, por exemplo, um espelho, e acima dele, em repouso, uma bola perfeitamente redonda; ver-se-á sobre o mesmo espelho a mesma bola ficar parada, apesar de o barco mover-se velozmente; argumento claro de que o ímpeto recebido pela bola daquele que a coloca, que está no barco quando ele se move muito velozmente, não se aniquila ou diminui; pois, se fosse diminuindo, a bola, depois de ser colocada sobre o espelho, começaria a correr ao contrário do movimento do barco, se não houvesse algum propulsor que a empurrasse e obrigasse a seguir o movimento do barco (...). Mas essa bola correria para trás, se aquele que a coloca [sobre o espelho] estivesse fora do barco e, quando passasse diante dele, colocasse a bola sobre o espelho; sem dúvida alguma ela correria contra o movimento do barco.

A idéia da bola perfeitamente redonda sobre o espelho é muito semelhante ao estilo da argumentação de Galileo, no já referido *Tratado sobre os mecanismos*, a respeito da inércia.

Galileo afirma aqui que a velocidade da bola tende a se manter e relaciona essa idéia de inércia ao caso do movimento do navio — esse movimento não produz efeito sobre o repouso da bola em relação ao navio. A experiência é impossível mas engenhosa. Há grandes semelhanças entre esse argumento de Galileo e o de Giordano Bruno — em ambos se discute a diferença entre um objeto solto por uma pessoa de dentro do navio e um objeto solto por uma pessoa colocada fora dele.

Ludovico delle Colombe acabou por citar a experiência do tiro para o céu, e Galileo (*Opere*, 1843, 381; *Opere*, 1930-4, v. 3-1, 259) respondeu que todos os corpos pesados possuem um “movimento natural, congênito e simultâneo”, que é circular em torno do centro da Terra, com duração de 24 horas, e que por esse motivo a bala atirada para cima acompanha a Terra. A idéia de Galileo, aqui, é semelhante à de Copérnico (e note-se que suas idéias ainda não estão claras, oscilando entre várias alternativas).

Há alguns pontos da obra de Ludovico delle Colombe que são muito esclarecedores sobre aspectos da obra futura de Galileo. Multiplicando os exemplos contra o movimento da Terra, ele se refere à hipótese de que (in GALILEI, *Opere*, 1843, 349-50; *Opere*, 1930-4, v. 3-1, 265) os pássaros seriam vistos passando a grande velocidade, para o ocidente, sobre nossas cabeças, se a Terra girasse; e refere-se a uma resposta dos copernicanos, que diziam que peixes colocados dentro de um vidro com água e transportados velozmente continuam nadando tanto em um sentido como em outro e que o mesmo ocorreria com os pássaros. Ludovico diz não ter realizado a experiência e que, mesmo se ela fosse verdadeira, seria irrelevante, pois a água é muito densa, e o ar, muito rarefeito. Em outro ponto (in GALILEI, *Opere*, 1843, 351-2; *Opere*, 1930-4, v. 3-1, 267), Ludovico afirma que, se a Terra girasse, as pessoas que saltassem para leste ou para oeste atingiriam distâncias diferentes. Mais tarde, como veremos, Galileo lembrou-se desses exemplos e os utilizou, sem citar a fonte.

Pode-se dizer que, ao ler e comentar a obra de Ludovico delle Colombe, algum ano após 1610, Galileo ainda não possuía uma concepção clara do princípio de relatividade; confusamente, ele sabia que era preciso utilizar a idéia da inércia (ou do *impetus*) e fazer composição de movimentos; mas ele acabava recaindo em raciocínios aristotélicos sobre movimentos circulares naturais e dava importância a efeitos produzidos pelo arrastamento do ar, que não são centrais.

8 A CARTA DE FRANCESCO INGOLI E A RESPOSTA DE GALILEO

Em 1616, época em que Galileo estava em Roma, o padre Francesco Ingoli enviou-lhe sob a forma de uma carta (*De situ et quiete Terrae*) um ataque ao sistema de Copérnico. Cópias dessa carta foram distribuídas por Ingoli a outras pessoas e logo esse trabalho tornou-se bem conhecido. No 5º capítulo, ao descrever evidências a favor de Ptolomeu e de Aristóteles, Ingoli (in GALILEI, *Opere*, 1930-4, 408) refere-se às cartas de Tycho a Rothman e descreve os argumentos do globo de chumbo solto do alto da torre e dos tiros de canhão para leste e oeste. Esses ainda eram considerados argumentos decisivos contra Copérnico.

Na época, Galileo foi incapaz de responder à carta de Ingoli. Tendo deixado Roma, talvez até tivesse se esquecido disso; mas a carta não foi esquecida em Roma, onde era considerada a resposta final aos copernicanos. Em 1624, ao retornar a essa cidade,

Galileo percebeu que estava em posição incômoda e respondeu (*Lettera a Francesco Ingoli*), com 8 anos de atraso, aos argumentos de Ingoli. Ele estava, então, preparado para o conflito.

Galileo discutiu a experiência da pedra solta do alto da torre ou do alto do mastro do navio e respondeu (in *Opere*, 1930-4, v. 6, 546; *Opere*, 1843, 100), tal como o fez Giordano Bruno, e tal como ele próprio o fez depois no *Diálogo*, da seguinte maneira:

Digo-vos, portanto, senhor Ingoli, que, quando o navio está em movimento, aquela pedra se move também com igual ímpeto e que esse ímpeto não se perde quando aquele que a segurava abre a mão e a deixa em liberdade, mas [o ímpeto] se conserva indelevelmente nela e, assim, por causa dele, ela é capaz de seguir o navio e pela própria gravidade, não impedida por ele [o ímpeto horizontal], ela vai para baixo, compondo com ambos um belo movimento (e também provavelmente circular) transversal e inclinado para onde caminha o navio; e assim vem a cair no mesmo ponto do navio em que caía quando tudo estava parado.

Dessa forma, Galileo, como Bruno anteriormente, conseguiu dar uma boa descrição da experiência do navio, introduzindo a idéia do ímpeto e de sua conservação e a independência dos dois movimentos. É a inércia que permite que a pedra continue a cair sempre no mesmo ponto, independentemente da velocidade do navio.

Para responder ao argumento dos tiros de artilharia para leste e para oeste, seria preciso dispor de uma teoria mais elaborada do que a que Galileo desenvolveu até essa época. Ele fugiu, assim, a uma análise detalhada e escapou ao mesmo tempo ao argumento dos tiros, propondo o princípio da relatividade (*Opere*, 1843, 100-3; *Opere*, 1930-4, v. 6, 546-9).

Quanto ao movimento dos projéteis de artilharia, embora eu não tenha feito a experiência, não duvido de que ocorra exatamente o que diz Tycho (...) mas adiciono (...) que isso acontecerá, porque é necessário que aconteça, esteja a Terra em movimento ou parada (...). E, para remover essa e todas as outras dificuldades desse gênero, como o voar dos pássaros (...), para eliminar, digo, todas essas aparentes dificuldades, digo que enquanto a Água, a Terra e o Ar, seu ambiente, fizerem em concordância as mesmas coisas, isto é, movam-se unidos ou fiquem parados juntos, necessariamente todas as mesmas aparências terão de apresentar-se tanto em um quanto em outro estado, todas, digo, as que se referem aos movimentos indicados dos [corpos] pesados que caem, dos projéteis para o alto ou para este ou aquele lado, do vôo dos pássaros para o nascente ou para o poente, do movimento de nuvens etc. (...) E quanto a esses [efeitos] indicados, tomai apenas esta experiência, que é muito capaz de encaminhar pela estrada correta, pois mostra, como disse, ser impossível tirar deles algo que sirva para resolver essa dúvida [sobre o movimento ou repouso da Terra]. No maior aposento existente sob a cobertura de um grande navio, fechai-vos com algum amigo e aí fazei haver moscas, mariposas e animaizinhos voadores semelhantes; tomai também um grande vaso com água com peixinhos dentro, adaptai também algum recipiente alto que vá gotejando em um outro, embaixo, de boca estreita e, estando parado o navio, observai cuidadosamente que aqueles animaizinhos voadores vão com igual velocidade para todos os lados do cômodo; vereis os peixes vagando indiferentemente para qualquer lado das bordas do vaso; os pingos cadentes entrarão todos no vaso colocado em baixo; e vós, ao jogar uma coisa a vosso amigo, não deveis jogá-la mais fortemente para aquele lado do que para este, quando as distâncias forem iguais; e, como se diz, com os pés juntos, [os saltos] attingirão espaços iguais para todos os lados. Tendo observado bem todas essas coisas, fazei mover o navio com a velocidade que se queira; e (desde que o movimento seja uniforme e não flu-

tuante daqui e dali) vós não reconhecereis a menor mudança em todas as coisas indicadas; nem por qualquer delas, nem por coisa alguma que esteja em vós, podereis assegurar-vos se o navio caminha ou está parado; saltando, vós passareis o mesmo espaço que antes e não fareis saltos maiores para a popa do que para a proa por mover-se o navio muito velozmente, embora durante o tempo em que estais no ar o assoalho corra em sentido contrário ao vosso salto; e, atirando um fruto ao amigo, não será preciso atirá-lo com mais força para atingi-lo, se ele estiver na popa, do que na situação oposta; as gotas cairão no vaso inferior, sem cair uma só para a popa, embora, enquanto a gota estiver no ar, o navio corra vários palmos; os peixes não ficarão mais fatigados ao nadar para a parte frontal do que para a parte traseira do vaso, mas com igual agilidade correrão a tomar o alimento que colocardes para eles em qualquer lado da borda do vaso; e, finalmente, as mariposas e moscas ficarão a voar indiferentemente para todos os lados e não se retirarão para o lado da popa, como se ficassem cansadas por manter a veloz corrida do navio, do qual ficaram muito tempo separadas, isto é, desde que ficaram suspensas no ar; e se, crestando uma pequena gota de incenso, fizerdes um pouco de fumaça, vereis que ela vai para o alto e af se detém e como uma pequena nuvem move-se indiferentemente tanto para este quanto para aquele lado. E se vós me perguntardes a razão de todos esses efeitos, responderei por enquanto: porque, sendo o movimento universal do navio comunicado ao ar e a todas as coisas que nele estão contidas, e não sendo [esse movimento] contrário à inclinação natural delas, ele [o movimento] se conserva indelevelmente nelas [nas coisas] — de outra vez vos darei respostas particulares e explicadas detalhadamente. Ora, quando tiverdes visto todas essas experiências e que esses movimentos, embora acidentais, mostram o mesmo resultado, tanto durante o movimento do navio quanto quando ele está parado, não deixareis de duvidar que ele deve acontecer em torno do globo terrestre, sempre que o ar caminhe junto com ele? E, ainda mais, porque esse movimento universal, que no navio é acidental, nós o colocamos na Terra e nas coisas terrestres como o seu [movimento] próprio e natural.

Essa longa citação, da resposta a Ingoli, escrita em 1624, contém, com pequenas diferenças, a mesma descrição que Galileo incluiu no *Diálogo* (GALILEI 1964, v. 2, 372; *Dialogue*, 186), pela voz de Salviati, oito anos mais tarde. É curioso que os historiadores não tenham notado ainda esse precedente.

9 NATUREZA E ENUNCIADO DO PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE

É fácil perceber a conexão estreita entre a experiência do navio e o tratado de Ludovico delle Colombe. De fato, aqui encontramos inseridas duas das experiências propostas por Ludovico contra o movimento da Terra: os saltos para leste e para oeste e os peixes nadando para um lado e para outro. Talvez uma pesquisa bibliográfica mais cuidadosa mostrasse que também os outros elementos da descrição de Galileo teriam sido, na época, sugeridos por outros autores.

Note-se que, ao tentar justificar a experiência do navio, Galileo oscila ainda entre duas explicações. Primeiramente, ele afirma que todos os corpos dentro do navio possuem o mesmo movimento inicial e que esse movimento se conserva, ou seja, usa a noção de inércia, que deveria ser completada aqui por argumentos sobre a composição de movimentos. Mas, depois, ao relacionar a experiência do navio com o que ocorre com a Terra, ele volta a dizer que o movimento de rotação terrestre é *natural*, e que por isso é ainda mais plausível que esse movimento natural comum não seja observado. É importante observar que no *Diálogo* essas justificativas não existem.

Na argumentação, Galileo poderia simplesmente expor a experiência do navio e, sem *explicar* o que ocorre no navio, tomar o princípio de relatividade como uma lei tirada da experiência e utilizá-lo para destruir os argumentos contra o movimento da Terra. Mas ele não o fez e tentou compreender os efeitos que ocorrem no navio, o que, contudo, não era capaz de fazer com toda clareza. Além disso, não é de forma alguma claro se ele *realizou* essas experiências. É mais provável que não. Em primeiro lugar, porque ele nunca afirma ter realizado a experiência: ele *propõe* que Ingoli realize o teste. Em segundo lugar, no *Diálogo*, logo após a exposição de Salviati, Sagredo comenta que, embora nunca lhe tenha ocorrido realizar esses testes, ele está seguro de que tudo acontecerá como descrito, pois muitas vezes, dentro de um navio, ele ficou a pensar se o navio estava parado ou em movimento e em que direção; e não foi capaz de descobri-lo. Em terceiro lugar, não é muito provável que fosse possível, em um navio da época, realizar-se a experiência das gotas caindo em um vaso de gargalo estreito. Por tudo isso, parece-me mais plausível que Galileo jamais tenha realizado essas experiências; apenas estava seguro de que elas dariam certo, se fossem realizadas.

Talvez seja conveniente agora, antes de prosseguir a análise das idéias de Galileo, explicitar o próprio princípio de relatividade. Afinal, o que afirma esse princípio? Qual é o seu enunciado?

Não parece que algum historiador se tenha preocupado com esse ponto, até agora. O próprio Galileo não usava a expressão “princípio da relatividade” e é possível colocar-se em dúvida se ele concebeu alguma explicitação clara de tudo o que está contido na experiência do navio. Parece-me, no entanto, que é possível encontrar uma frase sua, que para ele representa um princípio básico, e que podemos identificar com o “princípio de relatividade de Galileo”. É a seguinte:

‘O movimento comum é como inexistente’ (Il moto comune è come se non fusse).

Vamos tentar justificar a escolha dessa frase como expressão do princípio de relatividade de Galileo.

Em primeiro lugar, no *Diálogo* (1964, v. 2, 373; *Dialogue*, 187), logo após descrever a experiência do navio e concluir que os efeitos são iguais com o navio parado ou em movimento, ele adiciona:

E a razão de toda essa correspondência de efeitos é que o movimento do navio é comum a todas as coisas nele contidas e também ao ar.

Galileo não fala aqui nem em inércia, nem no movimento natural da Terra. A citação acima é a *única* explicação que ele fornece, no *Diálogo*, para a igualdade dos efeitos.

Em outros pontos da mesma obra, aparecem de forma destacada frases que repetem a mesma idéia geral. Em vários locais, elas aparecem como títulos marginais de certas passagens, que resumem suas idéias principais. Vamos citar algumas delas:

O movimento, para as coisas que se movem igualmente com ele, é como se não existisse, e produz efeitos em relação às coisas às quais falta [esse movimento] (*Diálogo*, v. 2, 271, margem).

Notai: o movimento, enquanto movimento, atua como movimento em relação às coisas que não o possuem; mas entre as coisas que participam dele, nada acontece, e é como se ele não existisse (*Dialogo*, v. 2, 271).

Caso notável do Sagredo para mostrar que o movimento comum não produz efeitos (*Dialogo*, v. 2, 351, margem).

(...) e talvez pudesse ajudar, para explicar essa falta de efeito [*nulla operare*] do movimento comum, e ser como inexistente para todos os participantes do mesmo (...)⁴.

O movimento comum é como inexistente (*Dialogo*, v. 2, 457, margem).

(...) respondemos de forma abundante, (...) e declaramos abertamente que o movimento comum a nós e aos outros móveis é como se não existisse (*Dialogo*, v. 2, 457).

Experiência que mostra que o movimento comum é imperceptível (*Dialogo*, v. 2, 459, margem).

O movimento, onde é comum, é como inexistente (*Dialogo*, v. 3, 149, margem).

(...) tal transporte é comum a vós e a todas as coisas terrestres, e o movimento, onde é comum, é como se não existisse (*Dialogo*, v. 3, 149).

Parece-me, por todos esses exemplos, que se pode escolher como expressão do princípio de relatividade de Galileo a frase indicada acima: 'O movimento comum é como inexistente', ou talvez: 'O movimento comum não produz efeitos'.

Note-se que Galileo não faz a restrição moderna, de considerar apenas movimentos retilíneos e uniformes. Os próprios movimentos da Terra são circulares e, no entanto, Galileo os afirma imperceptíveis.

É importante notar que ele considera o princípio da relatividade como aplicável indiferentemente a qualquer tipo de fenômeno. Os exemplos descritos na experiência do navio são mecânicos, mas deve-se levar em conta que vários deles são realizados por seres vivos e que, portanto, ele admite que os processos vitais são insensíveis ao movimento do navio; outros movimentos, como a queda das gotas, são produzidos por uma força *externa* ao sistema — a gravidade. Rigorosamente, nesse caso, o princípio de relatividade não poderia indicar o resultado da experiência.

Em um dos pontos acima citados, em que Galileo explicita o princípio de relatividade, ele está estudando fenômenos *ópticos* e afirma, então, que o movimento do navio não altera a posição visual aparente das partes do navio e que, dirigindo um quadrante ao topo do mastro, por exemplo, essa posição não sofrerá alterações pelo movimento do navio (*Dialogo*, v. 3, 150-1).

Galileo realmente necessitava de um princípio de relatividade que fosse totalmente geral, aplicável a todos os tipos de fenômenos, pois em caso contrário seria possível utilizar alguma experiência para provar que a Terra não se move. Ele não acreditava na possibilidade de decidir sobre o movimento ou imobilidade da Terra por experiências totalmente terrestres; e por isso aceitava o princípio da relatividade sem hesitações.

Se o princípio da relatividade de Galileo fosse apenas mecânico, seria possível tentar justificá-lo através de leis mecânicas. Na carta a Ingoli, Galileo parece preocupar-se apenas com movimentos e tenta justificar o princípio de relatividade através

⁴ GALILEI, *Dialogo*, v. 2, p. 351. É importante observar que esta e as três citações precedentes antecedem a experiência do navio, no texto do *Diálogo*, o que parece indicar que a experiência ilustra o princípio da relatividade, mas que o princípio é evidente por si próprio, não exigindo demonstração.

da inércia, como vimos. No *Diálogo*, ele altera o final da descrição e justifica a experiência do navio apenas pelo princípio da relatividade, sem justificar esse último e tomando, talvez, como evidente a impossibilidade de se notar efeitos de um movimento comum.

Por tudo isso, parece-me que, na sua versão final, ou seja, no *Diálogo*, o princípio de relatividade de Galileo adquire a natureza de um princípio evidente *a priori*, que não pode ser deduzido de outras leis teóricas ou experimentais, embora seja testável experimentalmente.

10 REPERCUSSÃO DO PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE

Sem querer ser completo, mas apenas para finalizar o presente estudo, desejo acrescentar algumas observações rápidas sobre as reações ao princípio de relatividade de Galileo, na época posterior ao *Diálogo*.

Em 1633, apenas um ano após a publicação do *Diálogo*, Antonio Rocco (*Esercizioni filosofiche*) publicava em Veneza um ataque a Galileo. A argumentação de Rocco é interessantíssima e permite observar o grande poder argumentativo da física aristotélica. Sobre o ponto que nos interessa, Rocco descreve a experiência do navio e interpreta — de boa fé, parece-me — a idéia de Galileo como se a impossibilidade de se observar efeitos do movimento do navio fosse devida ao transporte de ar dentro do cômodo. De fato, Galileo enfatizava esse aspecto, no seu livro, e não era absurdo entender dessa forma sua argumentação. Rocco (in GALILEI, *Opere*, 1843, 153) então afirmava que, se dentro do aposento do navio, alguém soltasse “um grande projétil, ele não seria sustentado por ele [pelo ar], mas cairia no fundo no navio e não seguiria o movimento do ar interno, como é manifesto”. Negava, assim, o princípio de relatividade de Galileo. Rocco admitia que as gotículas de água podem acompanhar o movimento do ar, mas negava que isso ocorra no caso de uma grande bola de chumbo e afirmava que, nesse caso, seu movimento aparente não seria vertical.

Em outro ponto (in GALILEI 1843, 256) Rocco utilizou uma outra evidência experimental contra o princípio de relatividade de Galileo — suponhamos que um pássaro esteja voando, que um atirador aponte sua arma para o pássaro e a mova de tal forma que acompanhe o voo. Pode-se dizer que o movimento relativo é nulo (principalmente se o pássaro voar em círculo em torno do atirador); mas, se ele atirar, sua bala passará por trás do pássaro não o atingindo, como garantiram a Rocco muitos caçadores experientes; para acertá-lo, seria preciso atirar à sua frente, o que prova que, mesmo quando o movimento é comum, ele pode ser sensível.

Esse último argumento de Rocco é irrespondível, dentro da visão de Galileo. De fato, Rocco usava um caso de movimento de rotação e, nesse caso, como sabemos, o princípio de relatividade de Galileo não é válido. Ora, a Terra gira; portanto, em rigor, Galileo não conseguiu fazer o que pretendia: tornar inobservável o movimento da Terra.

É interessante notar que Galileo estudou o livro de Rocco e anotou nas margens muitas observações; mas ele nada diz nos pontos citados acima. Daí concluo que ele não possuía uma boa resposta para a crítica de Rocco.

Também é interessante estudar a reação de Descartes às idéias de Galileo. Em 1634, Mersenne escreveu-lhe, descrevendo as idéias do *Diálogo* de Galileo, que Descartes ainda não havia lido. A reação que poderíamos esperar de Descartes seria de compreensão e aprovação; mas ele respondeu a Mersenne (DESCARTES, *Correspondance*, 287-8, abril/1634):

Quanto às experiências de Galileo que me enviais, eu as nego todas, embora não julgue por isso que o movimento da Terra seja menos provável. Não é que eu não aceite que a agitação de uma carroça, de um navio ou de um cavalo permaneça ainda de alguma forma na pedra, depois que ela é lançada de cima [deles]; mas há outras razões que impedem que ela continue tão grande [quanto antes]. E, quanto à bala de canhão atirada do alto de uma torre, ela deve tomar muito mais tempo para descer do que se a deixássemos cair; pois ela encontra mais ar em seu caminho, que a impede não só de ir paralelamente ao horizonte, mas também de descer.

Descartes negava a inércia e a independência dos movimentos vertical e horizontal. Em outra carta posterior (DESCARTES, *Correspondance*, 303, agosto/1634), Descartes, após ler o livro de Galileo, reafirmava sua opinião.

Posteriormente, Descartes alterou sua posição e incluiu nos seus *Princípios da filosofia* (*Principes de la philosophie*, II, § 10-5, § 24-32, § 37-9) a lei da inércia e o princípio da relatividade dos movimentos como leis básicas. O princípio da relatividade de Descartes também não estabelece diferença entre movimento retilíneo uniforme e movimento de rotação. Foi somente na obra de Newton (*Mathematical principles*, p. 19 — *Axioms, or laws of motion*, Corollary V) que o princípio da relatividade adquiriu sua forma moderna.

LISTA BIBLIOGRÁFICA

- 1 ARISTOTLE. *De Caelo*. Trad. J.L. Stocks. In: ROSS, W.D. *The works of Aristotle*. Oxford, Clarendon, 1930. V. 2.
- 2 BRUNO, Giordano. *La cena de le ceneri*. In: GUZZO, A. e Amerio, R. (eds.). *Opere di Giordano Bruno e di Tommaso Campanella*. Milano, Ricciardi, 1956, p. 179.
- 3 BULLIOT, J. Jean Buridan et le mouvement de la terre. *Rev. Phil.* 14: 5-24, 1914.
- 4 CLAVELIN, Maurice. *La philosophie naturelle de Galilée*. Paris, Colin, 1968.
- 5 COLOMBE, Ludovico delle. *Contro il moto della Terra* (1610), con postille di Galileo. In: GALILEI (1843), p. 337; GALILEI (1930-4), vol. 3.1, p. 251.
- 6 COPERNICUS, Nicolaus. *On the revolutions of the heavenly spheres*. Trad. Charles G. Wallis. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Great books of the western world, 16).
- 7 DESCARTES, René. *Correspondance*. In: ADAM, C. e Tannery, P. *Oeuvres de Descartes*. Paris, J. Vrin, 1969. V. 1.
- 8 ——. *Principes de la philosophie* (1647). In: ADAM, C. e Tanney, P. (eds.). *Oeuvres de Descartes*. Paris, J. Vrin, 1971. V. 9.2.
- 9 DUHEM, Pierre. Un précurseur français de Copernic: Nicole Oresme (1377). *Rev. Gén. Sci.* 20: 207-28, 1909.
- 10 ——. *Le système du monde*. Paris, Hermann, 1958. V. 9.
- 11 GALILEI, Galileo. *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II, Granduca di Toscana. Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1843. V. 2.
- 12 ——. *Le opere di Galileo Galilei*. Firenze, Barbèra, 1930-4.

- 13 — *Dialogo di Galileo Galilei Linceo* — Matematico sopraordinario dello studio di Pisa — e filosofo, e matematico primario del serenissimo Gran Duca di Toscana — dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo — tolemaico e copernicano — proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche, e naturali tanto per l'una, quanto per l'altra parte. Firenze, Landini, 1632.
- 14 — *Dialogo di Galileo Galilei Linceo* dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo — tolemaico e copernicano. In: GALILEI, Galileo. *Opere*. Ant. Pietro Pagnini. Firenze, Salani, 1964. V. 2 e 3.
- 15 — *Dialogue concerning the two chief world systems — Ptolomaic and Copernican*. Trad. S. Drake. 2. ed. Berkeley, University of California, 1967.
- 16 — *Lettera a Francesco Ingoli Ravenate* (1624). In: GALILEI (1843), p. 64; GALILEI (1930-4), v. 6, p. 509.
- 17 — *Trattato della sfera ovvero cosmografia* (~ 1592). In: GALILEI (1930-4), v. 2, p. 203.
- 18 — *Trattato delle meccaniche* (~1593). In: GALILEI (1930-4), v. 2, p. 149.
- 19 GROSS, W. E. Relativity of motion: from Occam to Galileo. *Ann. Sci.* 31: 529-45, 1974.
- 20 INGOLI, Francesco, *De situ et quiete terrae contra Copernici systema — disputatio — ad doctissimum mathematicum D. Galilaem Galilaem* (1616). In: GALILEI (1843), p. 51; GALILEI (1930-4), v. 5, p. 403.
- 21 KOYRÉ, Alexandre. *Études galiléennes*. Paris, Hermann, 1966.
- 22 MASSA, Daniel. Giordano Bruno and the top-sail experiment. *Ann. Sci.* 30: 201-11, 1973.
- 23 MICHEL, P. H. *The cosmology of Giordano Bruno*. Paris, Hermann, 1973.
- 24 NEWTON, Isaac. *Mathematical principles of natural philosophy*. Trad. Andrew Motte, rev. Florian Cajori. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Great books of the western world, 34)
- 25 ORESME, Nicole. *Traité du ciel et du monde* (1377). Ms. n° 1.083, Bibliothèque Nationale (Paris). Apud. DUHEM (1958), p. 329.
- 26 PTOLEMAEUS, Claudius. *The almagest*. Trad. Catesby Taliaferro. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Great books of the western world, 16)
- 27 ROCCO, Antonio. *Esercitazioni filosofiche* (1633), con postille di Galileo. In: GALILEI (1843), p. 117; GALILEI (1930-4), v. 7, p. 663.
- 28 SHEA, William R. *Galileo's intellectual revolution. Middle period, 1610-1632*. 2. ed. New York, Neale Watson, 1977.
- 29 TONNELAT, M. A. *Histoire du principe de relativité*. Paris, Flammarion, 1971.