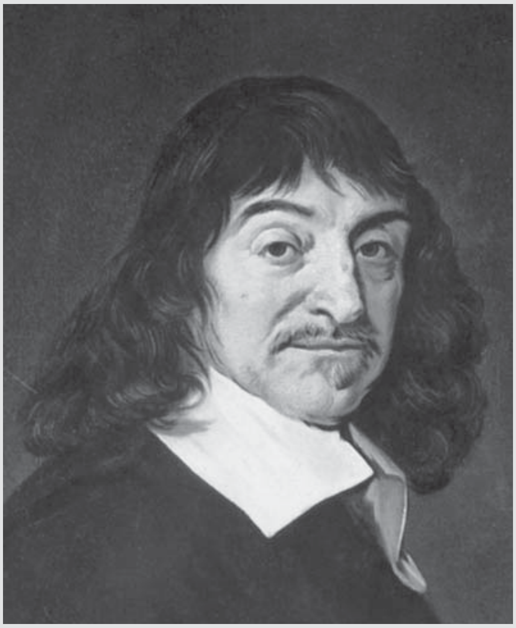
scientiæ studia, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 451-86, 2010

René Descartes



A dióptrica

Discursos I, II, III, IV *e* VIII

[81] Discurso I

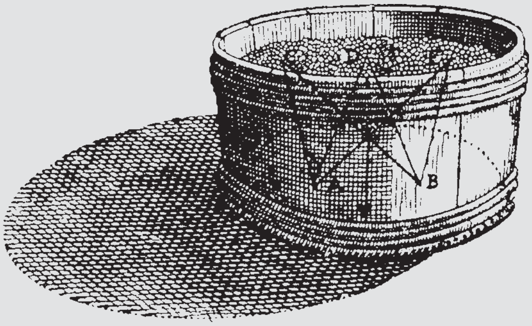
Da luz

Toda a conduta de nossa vida depende de nossos sentidos, e como a visão é o mais universal e o mais nobre dos sentidos, não resta a menor dúvida de que as invenções que servem para aumentar seu poder estão entre as mais úteis que podem existir. E é difícil encontrar alguma que a aumente mais do que aquelas maravilhosas lunetas que, estando em uso há pouco tempo, nos têm revelado novos astros no céu e outros novos objetos acima da Terra em maior número do que nós já havíamos visto antes. Assim, levando nossa visão muito mais longe do que poderia normalmente ir a imaginação de nossos pais, essas lunetas parecem ter aberto caminho para que nós alcancemos um conhecimento da natureza muito maior e mais perfeito do que eles possuíram. Mas, para vergonha de nossas ciências, essa invenção, tão útil e tão admirável, apenas foi [82] primeiramente alcançada pela experiência e ao acaso. Há aproximadamente 30 anos, um homem chamado Jacques Metius, oriundo da cidade de Alkmar na Holanda, que nunca estudou, apesar de ter tido um pai e um irmão que fizeram das matemáticas suas profissões respectivas, mas que tinha particular prazer em manufaturar espelhos e vidros ardentes, compondo-os mesmo durante o inverno com o gelo, assim como a experiência mostrou que pode ser feito, tendo nessa ocasião muitos vidros de diversas formas, experimentou, felizmente, olhar através de dois, dos quais um era um pouco mais espesso no meio do que nas extremidades, e o outro, ao contrário, era muito mais espesso nas extremidades do que no meio. Ele os colocou de uma maneira tão favorável nas extremidades de um tubo, de forma que se fez assim a primeira luneta que mencionamos anteriormente. E é somente sob esse padrão que todas as outras lunetas, que vimos depois, foram fabricadas, sem que ninguém, que eu saiba, tenha determinado ainda as formas exatas que esses vidros devem ter. Isso porque, apesar de ter havido desde então um grande número de boas mentes que trataram intensamente desse assunto e encontraram, na ocasião, muitas coisas na óptica que valem mais do que as que nos tinham deixado os antigos, todavia, pelo fato de as invenções um pouco difíceis não chegarem ao último grau de perfeição logo da primeira vez, restaram ainda muitas dificuldades nessa área para me fornecer assunto para escrever. E desde que a execução das coisas, de que falarei, deve depender da habilidade dos artesãos que comumente não estudaram, procurarei mostrar-me [83] inteligível a todos, e nada omitir do que se deve ter aprendido em outras ciências. Por isso, começarei pela explicação da luz e de seus raios luminosos; depois, tendo feito uma breve descrição das partes do olho, direi detalhadamente de que modo se faz a visão; e, em seguida, após ter anotado todas as coisas que são capazes de torná-la mais perfeita, mostrarei como podem ser ajudadas pelas invenções que descreverei.

Ora, não tendo aqui outra ocasião de falar da luz a não ser para explicar como seus raios entram no olho e como eles podem ser desviados pelos diversos corpos que encontram, não é necessário que eu empreenda a tarefa de dizer na verdade qual é sua natureza; creio que bastará que eu me sirva de duas ou três comparações que ajudem a concebê-la do modo que me pareça mais cômodo, para explicar todas aquelas suas propriedades que a experiência nos faz conhecer e para deduzir, em seguida, todas as outras que não podem ser tão facilmente notadas, imitando nisso os astrônomos, os quais, ainda que suas suposições sejam quase todas falsas ou incertas, ainda assim, por corresponderem às diversas observações que eles fizeram, não deixam de tirar delas várias consequências muito verdadeiras e muito seguras.

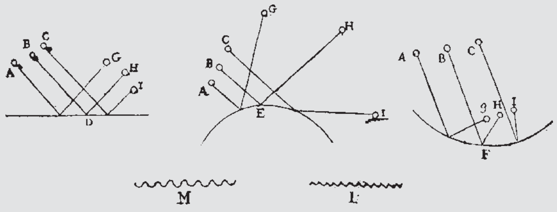
E, certamente, algumas vezes vos ocorreu, ao caminhar à noite sem tocha por lugares um pouco difíceis, que seria necessário o auxílio de uma bengala para vos conduzir; teríeis então podido [84] constatar que se sente, pela extremidade da bengala, os diferentes objetos que se encontravam ao vosso entorno; e até mesmo que vós poderíeis distinguir se havia árvores, pedras, areia, água, grama, lama, ou qualquer outra coisa semelhante. É verdade que esse tipo de sentimento é um pouco confuso e obscuro naqueles que não utilizam frequentemente a bengala ou que a usam pouco. Mas, considerando aqui aqueles que nasceram cegos e serviram-se da bengala durante toda sua vida, encontrareis neles um uso tão perfeito e tão exato que se poderá quase dizer que eles veem pelas mãos, ou que a bengala deles é o órgão de algum sexto sentido, que lhes foi dado na falta da visão. E, para tirar uma comparação disso, desejo que vós penseis que a luz, nos corpos que denominamos luminosos, nada mais é que um certo movimento ou uma ação muito rápida e muito viva, que passa para nossos olhos por intermédio do ar e de outros corpos transparentes, da mesma maneira que o movimento ou resistência dos corpos, que esse cego encontra, passam para sua mão por intermédio de sua bengala. Isso vos impedirá de início de achar estranho que essa luz possa estender seus raios em um instante, desde o Sol até nós, pois sabeis que a ação, pela qual movemos uma das extremidades de uma bengala, deve passar assim em um instante até a outra extremidade, e que ela deveria passar do mesmo modo, ainda que houvesse mais distância do que há, desde a Terra até os céus. Tampouco acharíeis estranho que por seu meio possamos ver todos os tipos de cores; e até [85] acreditaríeis talvez que essas cores não são outra coisa, nos corpos que nomeamos coloridos, que os diversos modos pelos quais esses corpos a recebem e a enviam na direção de nossos olhos. Se vós considerardes que as diferenças que um cego nota entre as árvores, as pedras, a água e coisas parecidas, por intermédio de sua bengala, não lhe parecem menores do que nos provocam aquelas que estão entre o vermelho, o amarelo, o verde e todas as outras cores; todavia, essas diferenças não são outra coisa, em todos esses corpos, do que as diversas maneiras de mover ou de resistir aos movimentos dessa bengala. Em consequência disso, tereis ocasião de julgar que não é necessário supor que ocorra alguma coisa de material desde os objetos até nossos olhos, para fazer que vejamos as cores e a luz, nem mesmo que haja algo nesses objetos que seja semelhante às ideias ou aos sentimentos que temos deles. Da mesma forma, que não sai nada dos corpos que um cego sente, que deva passar ao longo de sua bengala até a sua mão, e que a resistência ou o movimento desses corpos, que é a única causa das sensações que ele possui, não é em nada semelhante às ideias que ele concebe desses corpos. Por esse meio, vosso espírito estará liberto de todas essas pequenas imagens flutuantes no ar, as chamadas *species intencionais*, que inquietam tanto a imaginação dos filósofos. Podereis até facilmente decidir a questão, que se dá entre eles, concernente ao lugar de onde vem a ação que causa a sensação da visão, pois, como nosso cego pode sentir os corpos que estão em torno dele, não **[86]** somente pela ação desses corpos, quando eles se movem contra sua bengala, mas também pela ação de sua mão, quando eles não fazem mais que lhe resistir. Assim, deve-se admitir que os objetos da visão podem ser sentidos não somente por meio da ação que, estando neles, tende para os olhos, mas também por meio daquela que, estando nos olhos, tende em direção a eles. Todavia, em virtude de que essa ação não é outra coisa senão a luz, deve-se notar que há aqueles que podem ver durante as trevas da noite, como os gatos, nos olhos dos quais ela se encontra; e que, para a maioria dos homens, eles só veem pela ação que vem dos objetos, pois a experiência nos mostra que esses objetos devem ser luminosos ou iluminados para serem vistos, e não nossos olhos para vê-los. Mas, dado que há uma grande diferença entre a bengala desse cego e o ar ou os outros corpos transparentes, por intermédio dos quais nós vemos, é preciso, ainda, que eu me sirva aqui de uma outra comparação.

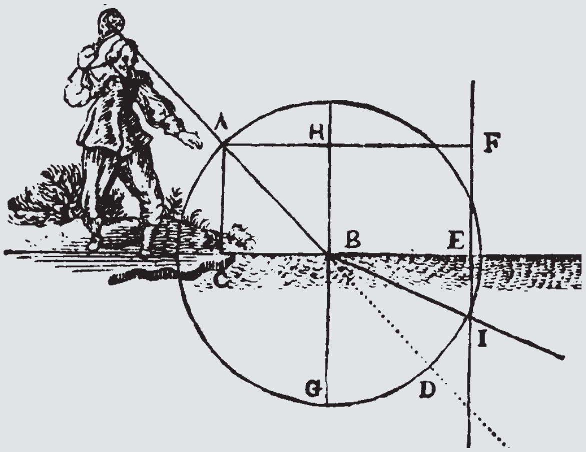
Observai um tonel que, no tempo de colheita, está repleto de uvas meio esmagadas, no fundo do qual foi feito um ou dois orifícios, como *A* e *B*, por onde o vinho que o tonel contém possa escoar. Depois, pensai que, não existindo vazio na natureza, tal como alegam quase todos os filósofos, e, entretanto, existindo vários poros em todos **[87]** os corpos que percebemos em torno de nós, como a experiência pode mostrar muito claramente, é necessário que esses poros sejam preenchidos com alguma matéria muito sutil, e bem fluida, que se estende sem interrupção desde os astros até nós. Ora, essa matéria sutil, sendo comparada com o vinho desse recipiente, e as partes menos fluidas ou mais grosseiras, tanto do ar como dos outros corpos transparentes, com os cachos das uvas que estão pelo meio, vós compreendereis facilmente que, como as partes desse vinho, que estão, por exemplo, em direção a *C*, tendem a descer em linha reta pelo orifício *A*, no mesmo instante em que ele é aberto, e simultaneamente pelo orifício *B*, e aquelas que estão em direção a *D* e a *E*, tendem também, ao mesmo tempo, a descer por esses dois orifícios, sem que nenhuma dessas ações seja impedida pelas outras, nem também pela resistência dos cachos que estão nesse recipiente; e que, não obstante, esses cachos, por estarem sustentados um pelo outro, não tendem de modo algum a descer pelos orifícios *A* e *B*, como o vinho, mesmo que eles possam ser movidos de muitos outros modos, por aqueles que os pressionam. Assim, todas as partes da matéria sutil, que toca o lado do Sol que está voltado para nós, tendem em linha reta em direção aos nossos olhos, no mesmo instante em que eles são abertos,



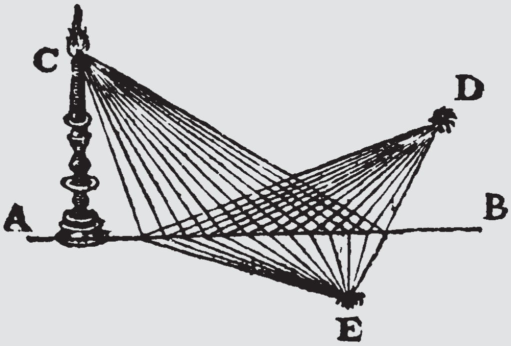
sem que umas impeçam as outras, e mesmo sem serem impedidas pelas partes grosseiras dos corpos transparentes que estão entre os dois: seja porque esses corpos movem-se de outras maneiras, como o ar, que é quase sempre agitado por algum vento, seja porque eles estão sem movimento, como talvez o vidro [88] ou o cristal. Notai aqui que se deve distinguir entre o movimento e a ação ou inclinação a mover-se. Pois pode-se muito bem conceber que as partes do vinho, que estão, por exemplo, em direção a *C*, tendem para *B* e, ao mesmo tempo, para *A*, apesar de elas não poderem atualmente mover-se em direção a esses dois lados ao mesmo tempo, e tendem exatamente em linha reta em direção a *B* e a *A*, ainda que elas não se possam mover tão exatamente em linha reta, por causa dos cachos de uvas que estão entre eles. Assim, pensando que não é tanto o movimento, mas a ação dos corpos luminosos que deve ser tomada como sua luz, vós deveis julgar que os raios dessa luz não são outra coisa senão as linhas segundo as quais tende essa ação. De sorte que há uma infinidade de tais raios que vêm de todos os pontos dos corpos luminosos em direção a todos os pontos daqueles que eles iluminam, de modo que podeis imaginar uma infinidade de linhas retas, segundo as quais as ações, que vêm de todos os pontos da superfície do vinho *CDE*, tendem em direção a *A*, e uma infinidade de outras, segundo as quais as ações, que vêm desses mesmos pontos, tendem também em direção a *B*, sem que umas impeçam as outras.

De resto, esses raios devem ser sempre imaginados assim, exatamente retos, quando eles só passam por um único corpo transparente, que é por toda parte igual a si mesmo. Mas, quando eles encontram alguns outros corpos, eles estão sujeitos a ser desviados por eles, ou amortecidos, do mesmo modo que é amortecido o movimento de uma bola, ou de uma pedra jogada no [89] ar, por aqueles corpos que ela encontra. Pois é muito fácil acreditar que a ação ou a inclinação a mover-se, que afirmei que se deve tomar como sendo a luz, deve seguir nisso as mesmas leis que o movimento. E a fim de que eu explique completamente essa terceira comparação, considerai que os corpos, que podem assim ser encontrados por uma bola que passa no ar, são ou moles ou duros ou líquidos; e que, se eles são moles, detêm e amortecem completamente seu movimento: como quando ela vai dar contra tecidos, areia ou lama; ao passo que, se esses corpos são duros, eles a enviam para um outro lado sem retê-la, e isso de muitos modos diferentes. Isso porque, ou sua superfície é toda igual e unida, ou áspera e desigual; e, novamente, sendo igual, ela é ou plana ou curva; e sendo desigual, ou sua desigualdade consiste em ser ela composta de várias partes diferentemente encurvadas, das quais cada uma é em si muito unida, ou ainda, ela consiste, além disso, em ter vários ângulos ou pontas, ou umas partes mais duras do que as outras, ou que se movam; e isso, com variações que podem ser imaginadas de mil maneiras. É preciso notar que a bola, além do seu movimento simples e comum, que a leva de um lugar a outro, pode, ainda, ter um segundo movimento, que a faz girar em torno de seu centro, e que a velocidade deste último pode ter várias proporções com aquela do outro movimento. Ora, quando muitas bolas, vindas do mesmo lado, encontram um corpo cuja superfície é toda unida e igual, elas se refletem igualmente e na mesma [90] ordem, de tal modo que, se essa superfície é toda plana, elas mantêm entre si a mesma distância que tinham anteriormente, após tê-la encontrado. Se a superfície é curvada para dentro ou para fora, elas se aproximam ou se afastam na mesma ordem umas das outras, mais ou menos, na razão dessa curvatura. Como vedes aqui, as bolas *A*, *B*, *C*, que depois de terem encontrado as superfícies dos corpos *D*, *E*, *F*, refletem-se em direção a *G*, *H*, *I*. Se essas bolas encontram uma superfície desigual, como *L* ou *M*, elas se refletem para vários lados, cada uma segundo a situação do local daquela superfície que ela toca. E elas não mudam nada, além disso, no modo de seu movimento, quando sua desigualdade só consiste no fato de suas partes serem diferentemente curvadas. Mas ela pode também consistir em várias outras coisas e fazer, por esse meio, que, se as bolas tiveram antes unicamente um movimento reto simples, elas percam uma parte desse movimento, e adquiram em seu lugar um movimento circular, que pode ter variada proporção com aquele que elas retêm do movimento reto, conforme a superfície do corpo que elas encontram possa estar diferentemente disposta. Isso é vivenciado por aqueles [91] que praticam o jogo de tênis, quando a bola deles encontra falsos quadrados, ou ainda, quando batem na bola enviesando sua raquete, o que me parece que eles chamam de cortar. Enfim, considerai que, se uma bola que se move encontra obliquamente a superfície de um corpo líquido, pelo qual ela possa passar mais ou menos facilmente do que por aquele de onde ela sai, ela se desvia e muda seu curso ao entrar nesse meio. Como, por exemplo, se, ao estar no ar no ponto *A*, nós impulsionarmos para *B*, ela irá nitidamente em linha reta, de *A* até *B*, se seu peso ou alguma outra causa particular não oferecer impedimento; mas, quando está no ponto *B*, onde suponho que ela encontre a superfície da água *CBE*, ela se desvia e toma seu curso em direção a *I*, indo mais uma vez em linha reta de *B* até *I*, assim como é fácil de verificar pela experiência. Ora, é preciso pensar, do mesmo modo, que há corpos que, sendo encontrados pelos raios da luz, amortecem-nos, tirando-lhes toda a força, a saber, aqueles que nós denominamos ne-





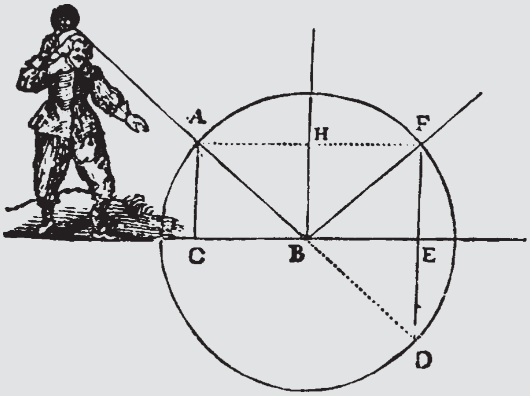
gros, os quais não têm outra cor senão a escuridão; e há outros que os fazem refletir, uns na mesma ordem que os recebem, ou seja, aqueles que, tendo sua superfície toda polida, podem servir de espelhos, tanto planos quanto curvos, e outros confusamente em direção a vários lados. Mais uma vez, [92] entre estes, alguns fazem refletir esses raios sem provocar nenhuma outra mudança em sua ação, a saber, aqueles que nós denominamos brancos, e outros aí provocam com isso uma alteração semelhante àquela que recebe o movimento de uma bola quando é enviesada, a saber, aqueles que são vermelhos, amarelos, azuis, ou de qualquer outra cor. Pois eu penso poder determinar em que consiste a natureza de cada uma dessas cores, fazendo-o ver pela experiência; mas isso ultrapassa os limites do meu assunto. Basta aqui advertir que os raios que incidem sobre os corpos que são coloridos e não polidos refletem-se comumente para todos os lados, mesmo que eles venham de um só lado; assim, ainda que aqueles que incidem sobre a superfície do corpo branco *AB* venham somente da tocha *C*, eles não deixam de refletir-se do mesmo modo para todos os lados, de modo que, em qualquer lugar que pousemos o olho, como, por exemplo, em direção a *D*, encontram-se aí sempre vários que vêm de cada lugar dessa superfície *AB* e que tendem em direção a ele. Analogamente, se supusermos esse corpo bem fino como um papel ou um tecido, de modo que a claridade passe através dele, ainda que o olho esteja do outro lado da tocha, como em direção a *E*, ele não impedirá que se reflitam em direção a si alguns raios de cada uma das partes desse corpo. Enfim, considerai que os raios também se desviam, do mesmo modo como foi dito a respeito de uma bola, quando eles encontram obliquamente a superfície de um corpo [93] transparente, pelo qual eles penetram mais ou menos facilmente, do que por aquele de onde eles vêm, e esse modo de desviar-se é denominado refração.



Discurso II

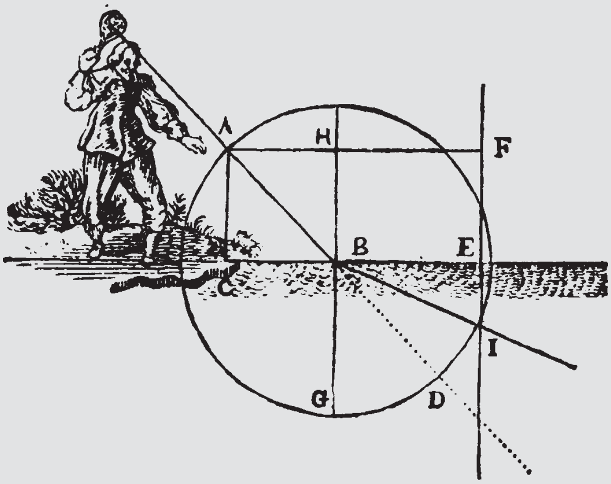
Da refração

Na medida em que teremos necessidade, mais adiante, de saber determinar exatamente a quantidade dessa refração e que ela pode ser muito facilmente entendida pela comparação da qual acabo de me servir, creio ser adequado que eu empreenda aqui, de plano, explicá-la; e que fale primeiramente da reflexão, a fim de tornar a compreensão desse assunto mais fácil. Pensemos, então, que uma bola, sendo impulsionada de *A* para *B*, encontra, no ponto *B*, a superfície do chão *CBE*, que, ao impedi-la de passar mais adiante, é a causa de seu desvio, e veremos para qual lado. Mas a fim de não nos embaraçarmos em novas dificuldades, suponhamos que o chão seja perfeitamente plano e duro, e que a bola mantenha sempre a mesma velocidade, tanto descendo quanto subindo, sem nos perguntarmos de modo algum [94] sobre a potência que continua a movê-la, depois que ela não é mais tocada pela raquete, nem considerar efeito algum de seu peso, nem de sua dimensão, nem de sua forma. Pois, não se trata aqui de olhá-la com tanta proximidade, e nenhuma dessas coisas têm lugar na ação da luz, com a qual isso deve estar relacionado. Deve-se somente notar que a potência, qualquer que seja, que faz continuar o movimento dessa bola, é diferente daquela que a determina a mover-se mais para um lado do que para um outro, do mesmo modo como é muito fácil conhecer em que consiste essa força pela qual ela foi impulsionada pela raquete, da qual depende seu movimento, e que essa mesma força teria podido fazê-la mover-se para qualquer outro lado, tão facilmente como para *B*, ao passo que é a posição dessa raquete que a determina a tender para *B*, e que teria podido determiná-la do mesmo modo, ainda que uma outra força a tivesse movido. Isso já mostra que não é impossível que esta bola seja desviada pelo encontro com o solo e, assim, que a determinação que ela possuía de tender para *B* seja alterada sem que por isso nada tenha mudado na força de seu movimento, uma vez que são duas coisas distintas e, por consequência, não devemos imaginar que seja necessário que ela pare por algum momento no ponto *B* antes de retornar para *F*, como afirmam muitos de nossos filósofos, pois se seu movimento fosse interrompido de uma só vez por essa parada, não se encontraria nenhuma causa que o fizesse recomeçar depois. Além do mais, deve-se notar que a determinação de mover-se para qualquer lado pode, assim [95] como o movimento e geralmente como qualquer outro tipo de quantidade, ser dividida entre todas as partes das quais podemos imaginar que ela seja composta; e pode-se facilmente imaginar que aquela da bola que se move de *A* para *B* seja composta por duas outras, das quais uma a faz descer da linha *AF* para a linha *CE* e a outra a faz ir, ao mesmo tempo, da esquerda *AC* para a direita *FE*, de tal modo que essas duas juntas a conduzem até *B*, segundo a linha reta *AB*. Em seguida, é fácil de compreender que o encontro com o solo



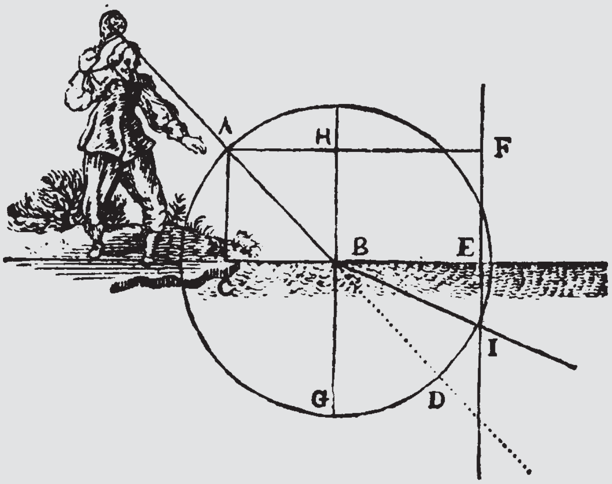
pode impedir apenas uma dessas duas determinações e de modo algum a outra. Pois ela deve impedir aquela que fazia a bola descer de *AF* para *CE*, por causa de ela ocupar todo o espaço que está abaixo de *CE*; mas por que ela impediria a outra que a faria avançar para a mão direita, visto que ela não lhe é de modo algum oposta nesse sentido? Para descobrir, então, para qual lado exatamente essa bola deve retornar, descrevemos um círculo de centro *B*, que passa pelo ponto *A*, e dizemos que no mesmo tempo que ela tiver empregado para mover-se desde *A* até *B*, ela deve infalivelmente empregar para retornar de *B* até qualquer ponto da circunferência desse círculo, na medida em que todos os pontos que estão à mesma distância deste *B* quanto de *A* encontram-se nessa circunferência, e supomos ser **[96]** o movimento dessa bola sempre igualmente rápido. Depois, a fim de saber precisamente a qual de todos os pontos dessa circunferência ela deve retornar, traçamos três linhas retas *AC*, *HB* e *FE* perpendiculares a *CE*, de tal modo que não haja nem mais nem menos distância entre *AC* e *HB* do que entre *HB* e *FE*; dizemos que no mesmo tempo que a bola empregou para avançar em direção ao lado direito, a partir de *A*, um dos pontos da linha *AC*, até *B*, um daqueles da linha *HB*, ela deve também avançar da linha *HB* até algum ponto da linha *FE*; pois todos os pontos dessa linha *FE* estão igualmente distantes de *HB* nesse sentido, tanto um como o outro, e igualmente distantes daqueles da linha *AC*, e ela está também igualmente determinada a deslocar-se para esse lado quanto ela esteva antes. Ora, ocorre que ela não pode chegar, ao mesmo tempo, em qualquer ponto da linha *FE*, e conjuntamente a qualquer ponto da circunferência do círculo *AFD*, a não ser ao ponto *D*, ou ao ponto *F*, tanto mais que só há esses dois, onde elas se interceptam; ainda que o solo a impeça de passar para *D*, deve-se concluir que ela deve ir infalivelmente para *F*. Vedes, assim, facilmente como se faz a reflexão, a saber, segundo um ângulo sempre igual àquele que denominamos ângulo de incidência. Como um raio, vindo do ponto *A*, incide no ponto *B* sobre a superfície do espelho plano *CBE*, e reflete-se para *F*, de tal modo que o ângulo de reflexão *FBE* não é nem maior nem menor que o ângulo de incidência *ABC*.

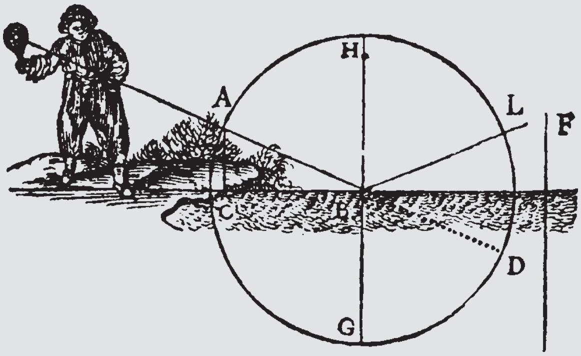
Chegamos agora à refração. **[97]** Primeiramente, suponhamos que uma bola, impulsionada de *A* para *B*, encontra no ponto *B*, não mais a superfície do solo, mas uma tela *CBE*, que seja tão frágil e fina que essa bola tenha a força de rompê-la e passar através da mesma, perdendo somente uma parte de sua velocidade, por exemplo, a metade. Isso posto, a fim de saber qual caminho ela deve seguir, consideremos ainda uma vez que seu movimento difere inteira-



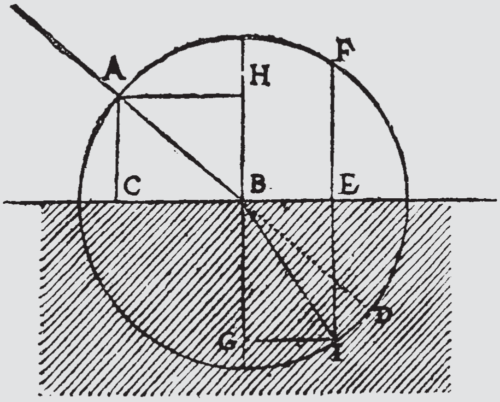
mente de sua determinação a mover-se mais para um lado do que para um outro, disso se segue que sua quantidade deve ser examinada separadamente. Consideremos também que das duas partes, das quais podemos imaginar que essa determinação é composta, só aquela que fizesse tender a bola do alto para baixo poderia ser alterada de algum modo pelo encontro com a tela; e no que concerne àquela que a faria tender para a mão direita, ela deve sempre permanecer a mesma, porque essa tela não lhe é de maneira alguma oposta nesse sentido. Depois, tendo descrito com o centro em *B* o círculo *AFD*, e traçado por ângulos retos sobre *CBE* as três linhas retas *AC*, *HB*, *FE*, de tal modo que haja duas vezes a mesma distância entre *FE* e *HB* que entre *HB* e *AC*, veremos que essa bola deve tender para o ponto *I*. Pois, uma vez que ela perde a metade de sua velocidade, ao atravessar a tela *CBE*, ela deve empregar duas vezes o mesmo **[98]** tempo para passar por baixo, a partir de B até qualquer ponto da circunferência do círculo *AFD*, que ela fez por cima ao vir de *A* até *B*. E dado que ela não perde absolutamente nada da determinação que tinha de deslocar-se para o lado direito: em duas vezes o mesmo tempo que ela empregou para passar da linha *AC* até a *HB*, ela deve percorrer duas vezes o mesmo caminho para esse mesmo lado e, por conseguinte, chegar a algum ponto da linha reta *FE*, no mesmo instante em que ela chega também a qualquer ponto da circunferência do círculo *AFD*; o que seria impossível, se ela não fosse para *I*, visto que é o único ponto abaixo da tela *CBE*, no qual o círculo *AFD* e a linha reta *FE* se cortam.

Pensemos, agora, que a bola que vem de *A* para *D* encontra no ponto *B*, não mais uma tela, mas água, cuja superfície *CBE* retira-lhe justamente a metade de sua velocidade, como fazia aquela tela; e o restante sendo mantido como antes, digo que essa bola deve passar de *B* em linha reta, não para *D*, mas para *I*. Pois, primeiramente, é certo que a superfície da água deve desviá-la para aquela direção do mesmo modo que a tela, visto que ela lhe tira exatamente o mesmo de sua força e que ela lhe é oposta no mesmo sentido. Em seguida, para o resto do corpo da água que preenche todo o espaço que vai de *B* até *I*, ainda que ela lhe resista mais **[99]** ou menos do que fazia o ar que nós havíamos suposto anteriormente, o que não significa que ele deva desviá-la mais ou menos, pois, ele se pode abrir, para dar-lhe passagem, tão facilmente para um lado quanto para o outro, pelo menos se supusermos sempre, como fazemos, que nem o peso ou a leveza dessa bola, nem sua dimensão, nem sua forma, nem qualquer outra causa estranha muda seu curso. Podemos aqui con-





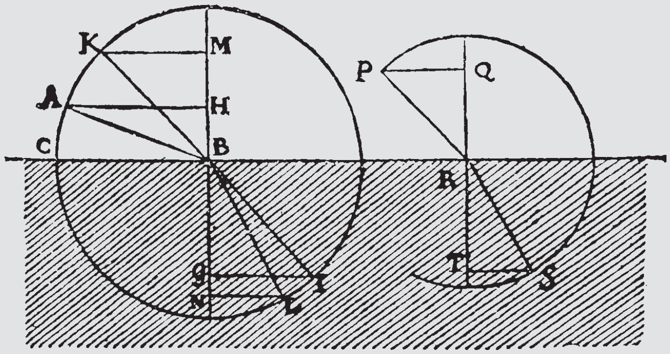
siderar que ela é tanto mais desviada pela superfície da água ou da tela quanto mais obliquamente ela a encontra, de tal modo que, se ela a encontra em ângulos retos, como quando ela é impulsionada de *H* para *B*, ela deve passar além, em linha reta, para *G*, sem nenhum desvio. Mas, se ela é impulsionada conforme uma linha como *AB*, que seja bem inclinada sobre a superfície da água ou da tela *CBE*, que a linha *FE*, sendo traçada como antes, não corta o círculo *AD*, essa bola não deve de maneira alguma penetrá-la, mas repicar de sua superfície *B* para o ar *L*, do mesmo modo que se ela tivesse encontrado o solo. Foi o que experimentamos, algumas vezes, com desgosto, quando, ao atirar por prazer com peças de artilharia para o fundo de um rio, ferimos aqueles que estavam na outra margem do rio.



Mas façamos ainda aqui uma outra suposição: pensemos que a bola, tendo sido primeiramente impulsionada de *A* para *B*, é ainda uma vez impulsionada, estando no ponto *B*, [100] pela raquete *CBE* que aumenta a força de seu movimento, por exemplo, de um terço, de modo que ela possa percorrer depois o mesmo caminho em dois momentos, quando antes ela o fazia em três. Produzirá o mesmo efeito se ela encontrar no ponto *B* um corpo de natureza tal que ela passe, através de sua superfície *CBE*, um terço mais facilmente do que pelo ar. Do que já foi demonstrado segue-se evidentemente que, se descrevermos o círculo *AD*, como antes, e as linhas *AC*, *HB*, *FE* de tal modo que haja um terço a menos de distância entre *FE* e *HB* do que entre *HB* e *AC*, o ponto *I*, onde a linha reta *FE* e a circular *AD* se interceptam, designará o lugar para o qual essa bola, estando no ponto *B*, deve ser desviada.

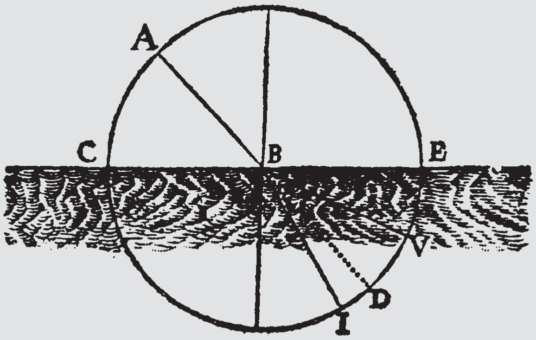
Ora, pode-se também tomar o inverso desta conclusão e dizer que, já que a bola, que vem de *A* em linha reta até *B*, é desviada ao estar no ponto *B* e toma seu curso de *B* para *I*, isso significa que a força ou a facilidade com a qual ela entra no corpo *CBEI* está para aquela com a qual ela sai do corpo *ACBE*, assim como a distância existente entre *AC* e *HB* está para aquela existente entre *HB* e *FI*, isto é, como a linha *CB* está para a *BE*.

Enfim, visto que a ação da luz segue nisso as mesmas leis que o movimento dessa bola, é preciso dizer que quando seus raios passam obliquamente de um corpo transparente para um outro, que os recebe mais ou menos facilmente que o primeiro, eles se [101] desviam de tal modo que se encontram sempre menos inclinados sobre a superfície desses corpos, do lado onde está aquela que os recebe mais facilmente do que o outro; e isso justamente na proporção em que ela os recebe mais facilmente do que faz o outro. É necessário, apenas, ficar atento para que essa inclinação seja medida pelas quantidades das linhas retas, como *CB* ou *AH*, e *EB* ou *IG*, e semelhantes, comparadas umas às outras, e não por aquela dos ângulos, tais como *ABH* ou *GBI*, nem muito menos por aquela dos semelhantes a *DBI*, que denominamos ângulos de refração. Pois a razão ou proporção que existe entre esses ângulos varia em todas as diferentes inclinações dos raios; enquanto que aquela existente entre as linhas *AH* e *IG*, ou semelhantes, permanece a mesma em todas as refrações que são causadas pelos mesmos corpos. Como, por exemplo, se passasse um raio no ar de *A* para *B* que, ao encontrar no ponto *B* a superfície do vidro *CBR*, desvia-se para *I* nesse vidro; e que venha outro [raio de luz] de *K* para *B* que se desvia para *L*, e um outro de *P* para *R*, que se desvia para *S*; deve haver aí a mesma proporção entre as linhas *KM* e *LN*, ou *PQ* e *ST*, do que entre *AH* e *IG*, mas não a mesma [proporção] entre os ângulos *KBM* e *LBN*, ou *PRQ* e *SRT*, do que entre *ABH* e *IBG*.



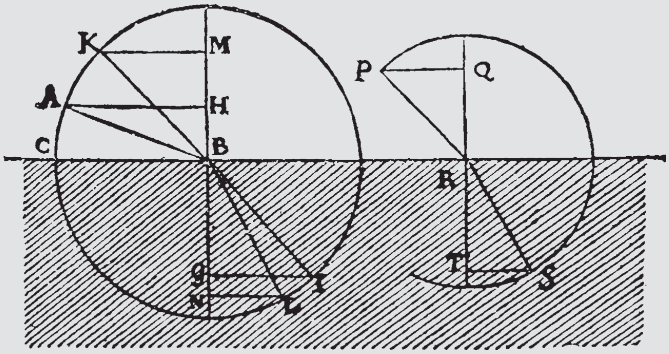
Assim, vedes agora de que modo [102] devem ser medidas as refrações; ainda que para determinar sua quantidade, na medida em que ela depende da natureza particular dos corpos onde elas ocorrem, seja preciso recorrer à experiência, não deixamos de poder fazê-lo muito certa e facilmente, desde que elas sejam assim todas reduzidas a uma mesma medida; pois basta examiná-las em um só raio, para conhecer todas aquelas que acontecem em uma mesma superfície, e podemos evitar todo erro, se as examinarmos, além disso, em algumas outras. Como se quisermos saber a quantidade daquelas que ocorrem na superfície *CBR*, que separa o ar *AKP* do vidro *LIS*, só temos que experimentá-la naquela do raio *ABI*, procurando a proporção que existe entre as linhas *AH* e *IG*. Depois, se tememos ter falhado nessa experiência, devemos ainda testá-la em alguns outros raios, como *KBL* ou *PRS*, e encontrando a mesma proporção entre *KM* e *LN*, e entre *PQ* e *ST*, assim como entre *AH* e *IG*, não teremos mais nenhuma ocasião de duvidar da verdade.

Mas, talvez, vós vos surpreendereis, ao realizar essas experiências, de encontrar que os raios da luz inclinam-se mais no ar do que na água, sobre as superfícies onde ocorre sua refração, e ainda mais na água do que no vidro, ao contrário de uma bola que

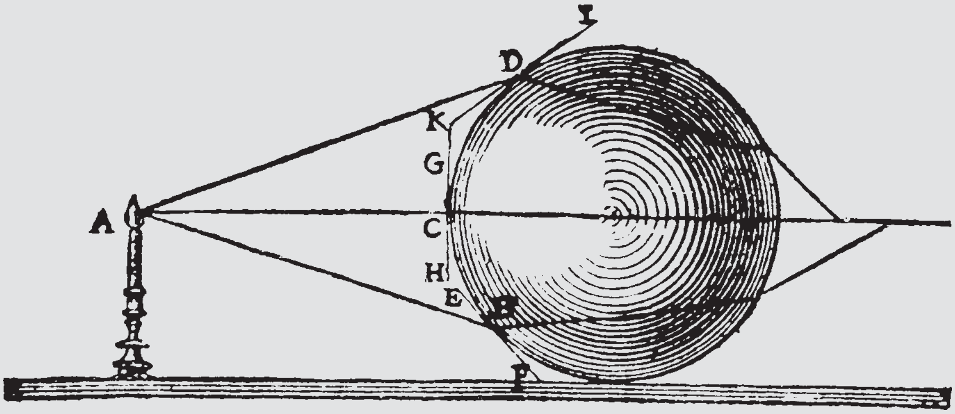


se inclina mais na água do que no ar, [103] e não pode de modo algum atravessar o vidro. Pois, por exemplo, se é uma bola que, ao ser impulsionada no ar de *A* para *B*, encontra no ponto *B* a superfície da água *CBE*, ela se desviará de *B* para *V*; e, se for um raio, ele irá, ao contrário, de *B* para *I*; o que deixareis de achar estranho, se vos lembrardes da natureza que eu atribuí à luz, quando disse que ela não era outra coisa que um certo movimento ou uma ação recebida em uma matéria muito sutil, que preenche os poros de outros corpos, e considerardes que, como uma bola perde mais de sua agitação ao dar contra um corpo mole do que contra um que é duro, e que ela rola menos facilmente sobre um tapete do que sobre uma mesa lisa, assim a ação dessa matéria sutil pode ser muito mais impedida pelas partes do ar que, sendo moles e mal unidas, não lhe fazem muita resistência, do que por aquelas da água que lhe fazem mais; e ainda mais, por aquelas da água do que pelas do vidro ou do cristal. De modo que, à medida que as pequenas partes de um corpo transparente são mais duras e mais compactas, mais facilmente elas deixam a luz passar, pois essa luz não deve expulsar nenhuma delas para fora de seus lugares, enquanto que uma bola deve expulsar aquelas da água para encontrar passagem entre elas.

De resto, sabendo assim a causa das refrações que [104] ocorrem na água e no vidro, e comumente em todos os outros corpos transparentes que estão ao nosso redor, podemos notar que elas devem ser todas semelhantes, quando os raios saem desses corpos e quando neles entram, assim como, se o raio que vem de *A* para *B* desvia-se de *B* para *I*, ao passar do ar para o vidro, aquele que voltar de *I* para *B* deve também desviar-se de *B* para *A*. Todavia, é possível encontrar outros corpos, principalmente no céu, onde as refrações, procedentes de outras causas, não são assim recíprocas. Também é possível encontrar certos casos, nos quais os raios devem curvar-se, ainda que eles apenas passem por um único corpo transparente, assim como o movimento de uma bola frequentemente se curva, porque ela é desviada para um lado por seu peso, e para um outro pela ação pela qual ela foi impulsionada, ou por diversas outras razões. Enfim, ouso dizer que as três comparações, das quais acabo de servir-me, são tão apropriadas que todas as particularidades que aí se podem notar relacionam-se com algu-



mas outras que se encontram todas semelhantes à luz; mas só tratei de explicar aquelas que compõem mais com o meu assunto. Não quero aqui fazer que considereis outra coisa a não ser que as superfícies dos corpos transparentes que são curvadas desviam os raios que passam por cada um de seus [105] pontos, do mesmo modo que fariam as superfícies planas, que podemos imaginar que tocam esses corpos nos mesmos pon-

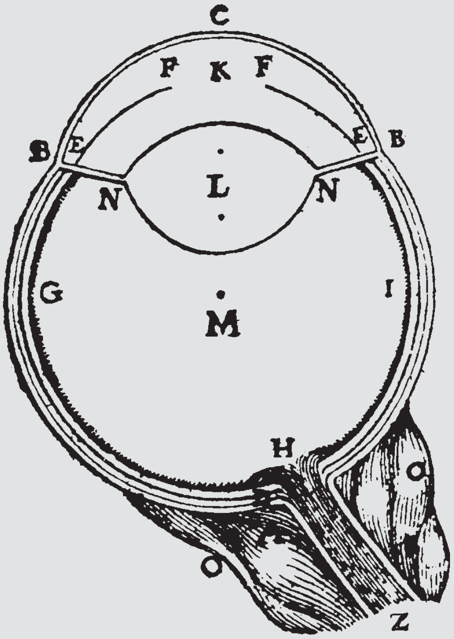


tos. Como, por exemplo, a refração dos raios *AB*, *AC*, *AD* que, vindos da tocha *A*, incidem sobre a superfície curva da bola de cristal *BCD*, deve ser considerada do mesmo modo como se *AB* incidisse sobre a superfície plana *EBF*, e *AC* sobre *GCH*, e *AD* sobre *IDK*, e assim para os outros. Desse modo, vedes que esses raios podem juntar-se ou separar-se diferentemente, conforme eles incidam sobre as superfícies que estão curvadas diferentemente. É chegado o momento de começar a descrever qual é a estrutura do olho, a fim de poder fazer entender como os raios, que entram em seu interior, nele são dispostos para causar a sensação da visão.

Discurso III

Do olho

Se fosse possível cortar o olho pela metade sem que os humores que o preenchem escorressem, ou que alguma de suas partes mudasse de lugar, e que [106] o plano do corte passasse exatamente pelo meio da pupila, constatar-se-ia que o olho pareceria de maneira tal como está representado nesta figura. *ABCB* é uma pele extremamente dura e espessa, que compõe como que um vaso redondo, no qual todas as suas partes internas estão contidas. *DEF* é uma outra pele que é fina, que se estende como um tapete dentro da precedente. *ZH* é o nervo denominado ótico, que é composto por um grande número



de pequenos filamentos, cujas extremidades se espalham por todo o espaço *GHI*, onde, misturando-se com uma infinidade de pequenas veias e artérias, compõem uma espécie de carne extremamente fina e delicada, a qual funciona como uma terceira pele que cobre todo o fundo da segunda. *K*, *L*, *M* são três tipos de secreções ou humores muito transparentes, que preenchem todo o espaço contido no interior dessas peles, e cada uma tem a forma com a qual a vedes aqui representada. E a experiência mostra que aquela do meio, *L*, que denominamos de humor cristalino, causa aproximadamente a mesma refração que ocorre no vidro ou no cristal; e que as duas outras, *K* e *M*, produzem-na um pouco menos, de maneira semelhante à água comum, de tal modo que os raios de luz passam mais facilmente por aquela do meio do que pelas outras duas, e ainda mais facilmente por estas duas do que pelo ar. Na primeira pele, a parte *BCB* é transparente e um pouco mais encurvada que o resto *BAB*. Na segunda, a [107] superfície interna da parte *EF*, que está voltada para o fundo do olho, é toda negra e escura, e tem no meio uma pequena cavidade redonda *FF*, que é o que denominamos de pupila, e que parece tão preta no meio do olho quando é observado de fora. Nem sempre essa cavidade é do mesmo tamanho, e a parte *EF* da pele na qual ela está nadando livremente no humor *K*, que é muito líquido, parece ser como um pequeno músculo, que se pode retrair ou dilatar à medida que se olha os objetos mais ou menos próximos, ou mais ou menos iluminados, ou quando desejamos ver mais ou menos distintamente. Podeis ver facilmente a experiência de tudo isso no olho de uma criança, pois se vós a fazeis olhar fixamente para um objeto próximo, vereis que sua pupila se tornará um pouco menor do que se a fizésseis olhar para um objeto um pouco mais distante, e que não seja com isso mais iluminado. À medida que ela ainda olha o mesmo objeto, ela a terá muito menor, se estiver em um quarto bem iluminado, do que se, fechando a maioria das janelas, ele for tornado bem obscuro. E, enfim, que, permanecendo no mesmo dia, e olhando o mesmo objeto, se ela se esforçar em distinguir as menores partes desse ambiente, sua pupila tornar-se-á ainda menor do que se ela o considerasse todo inteiro e sem atenção. Notai que esse movimento deve ser denominado voluntário, não obstante ele seja comumente ignorado por aqueles que o fazem, pois ele não deixa por isso de ser dependente e de seguir-se da vontade que se tem de ver bem; do mesmo modo que os movimentos dos lábios e da língua, que servem para pronunciar as palavras, são denominados voluntários, porque eles se seguem da [108] vontade que temos de falar, apesar de frequentemente ignorarmos quais deles devem servir para a pronúncia de cada letra. *EN*, *EN* são vários pequenos filamentos negros que abarcam tudo ao redor do humor marcado *L*, e que, originando-se também na segunda pele, no lugar em que a terceira termina, parecem como pequenos tendões, por meio dos quais esse humor *L* torna-se às vezes curvo e às vezes mais plano, de acordo com a intenção que temos de olhar os objetos próximos ou distantes, mudando um pouco a figura do corpo do olho. E vós podeis conhecer esse movimento pela experiência, pois se, quando olhardes fixamente uma torre ou uma montanha um pouco distante, apresentarmos um livro diante de vossos olhos, vós não podereis aí ver nitidamente nenhuma letra até que sua figura seja um pouco mudada. Enfim, *O*, *O* são seis ou sete músculos ligados ao olho por fora, que o podem mover de todos os lados, e até mesmo, talvez, ao pressioná-lo ou afastá-lo, podem ajudar a mudar sua figura. Deixo ao desenho várias outras particularidades que se observam no que concerne a esse assunto, com as quais os anatomistas aumentam os seus livros, pois creio que esses desenhos que introduzi aqui serão suficientes para explicar tudo que serve para meu assunto, e que os outros que posso acrescentar, não auxiliando em nada a vossa inteligência, apenas serviriam para distrair vossa atenção.

[109] Discurso IV

Dos sentidos em geral

Porém, é necessário que eu vos diga agora alguma coisa sobre a natureza dos sentidos em geral, a fim de poder explicar mais facilmente em particular aquele da visão. Já sabemos muito bem que é a alma que sente, e não o corpo, visto que constatamos que, quando ela se distrai por um êxtase ou forte contemplação, todo o corpo permanece sem sensação, ainda que existam vários objetos que o toquem. Sabemos que não é propriamente enquanto se encontra nos membros, que servem de órgãos aos sentidos externos, que ela sente, mas enquanto ela está no cérebro, onde ela exerce essa faculdade chamada sentido comum, pois observamos lesões e doenças que, ao atingir somente o cérebro, impedem geralmente todos os sentidos, ainda que o resto do corpo não deixe por isso de estar animado. Enfim, sabemos que é por meio das extremidades dos nervos que as impressões, que fazem os objetos nos membros exteriores, chegam até a alma no cérebro, pois constatamos vários acidentes que, ao prejudicar apenas a algum nervo, retiram a sensação de todas as partes do corpo para onde esse nervo envia suas ramificações, sem diminuir em nada a dos outros. Mas, para saber mais particularmente de que modo a alma, permanecendo no cérebro, pode [110] assim por intermédio dos nervos receber as impressões dos objetos que estão fora, deve-se distinguir três coisas nesses nervos: a saber, primeiramente, as peles que os envolvem e que, originando-se daquelas que revestem o cérebro, são como pequenos tubos divididos em várias ramificações que se vão expandir aqui e ali para todos os membros, da mesma maneira que as veias e as artérias; depois, sua substância interna, que se estende sob a forma de pequenas redes ao longo desses tubos, a partir do cérebro, onde elas se originam, até as extremidades dos outros membros, onde elas se ligam, de tal modo que podemos imaginar, em cada um desses pequenos tubos, várias dessas pequenas redes independentes umas das outras; depois, enfim, os espíritos animais, que são como um ar ou um vento muito sutil que, vindo das câmaras ou concavidades que estão no cérebro, escoam por esses mesmos tubos nos músculos. Ora, os anatomistas e os médicos admitem frequentemente que essas três coisas se encontram nos nervos, mas não me parece que algum deles tenha ainda distinguido bem os seus usos. Pois, constatando que os nervos não servem somente para comunicar a sensação aos membros, mas também para movê-los, e que há, algumas vezes, paralisias que bloqueiam o movimento sem, por isso, impedir a sensação, ora eles dizem que haveria dois tipos de nervos, dos quais uns só servem para os sentidos, e os outros para os movimentos, ora afirmam que a faculdade de sentir estaria nas peles ou membranas, e que a de mover estaria na substância interna dos nervos. Tais afirmações são muito contrárias à [111] experiência e à razão, pois, quem jamais pôde notar algum nervo que servisse ao movimento, sem servir também a algum sentido? E como, se fosse das peles que a sensação dependesse, as diversas impressões dos objetos poderiam, por intermédio dessas peles, chegar até o cérebro? Então, a fim de evitar essas dificuldades, deve-se pensar que são os espíritos que, escoando pelos nervos nos músculos, inflando-os mais ou menos, às vezes uns, às vezes outros, segundo as diversas maneiras pelas quais o cérebro os distribui, causam o movimento de todos os membros, e que são as pequenas redes, que compõem a substância interna desses nervos, que servem aos sentidos. E na medida em que não tenho aqui necessidade alguma de falar dos movimentos, desejo somente que concebais que essas pequenas redes, estando encerradas, como eu disse, nos tubos que são sempre inflados e mantidos abertos pelos espíritos aí contidos, não se pressionam, nem impedem de maneira alguma uns aos outros, estendendo-se desde o cérebro até as extremidades de todos os membros que são capazes de alguma sensação, de tal modo que por pouco que se toque e se faça mover a região desses membros em que algum deles esteja ligado, faz-se também mover, no mesmo instante, o lugar do cérebro de onde ele vem, assim como, ao puxar uma das extremidades de uma corda que está toda esticada, fazemos mover, no mesmo instante, a outra extremidade.

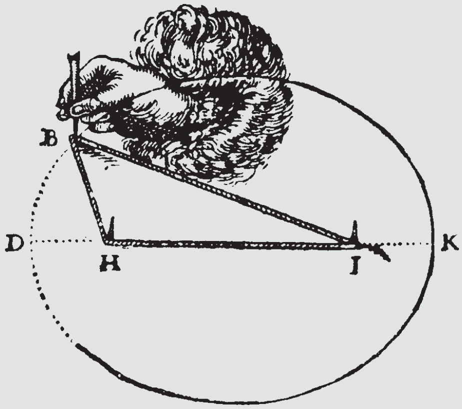
Pois, sabendo que essas redes estão assim encerradas nos tubos, que os espíritos mantêm sempre um pouco inflados e entreabertos, é fácil de entender que ainda que eles estivessem muito mais soltos do que esses que os bichos-da-seda tecem e mais frágeis **[112]** que os das aranhas, eles não deixariam de poder estender-se desde a cabeça até os membros mais distantes, sem que corram perigo de romperem-se, nem de que as diversas posições desses membros impeçam seus movimentos. Deve-se, além disso, ter o cuidado para não supor que, para sentir, a alma tenha necessidade de contemplar algumas imagens que sejam enviadas pelos objetos até o cérebro, assim como fazem comumente nossos filósofos, ou, pelo menos, deve-se conceber a natureza dessas imagens de modo totalmente diferente do que eles o fazem. Pois, na medida em que eles não consideram nelas outra coisa, a não ser que elas devem ter a semelhança com os objetos que representam, é impossível que eles nos mostrem como elas podem ser formadas por esses objetos e recebidas pelos órgãos dos sentidos externos e transmitidas pelos nervos até ao cérebro. E eles não tiveram nenhuma razão de supô-los, exceto que, ao ver que nosso pensamento pode ser facilmente estimulado por um quadro a conceber o objeto que é pintado, pareceu-lhes que ela devia ser do mesmo modo estimulada a conceber aqueles que tocam nossos sentidos, por alguns pequenos quadros que se formariam em nossa cabeça, enquanto que nós devemos considerar que há várias outras coisas, além das imagens, que podem estimular nosso pensamento, como, por exemplo, os sinais e as palavras, que não se parecem de forma alguma com as coisas que significam. E se, para que nos distanciemos o menos possível das opiniões já recebidas, preferirmos admitir que os objetos que sentimos enviam verdadeiramente suas imagens até **[113]** dentro de nosso cérebro, é preciso ao menos notar que não há quaisquer imagens que devam assemelhar-se em tudo aos objetos que elas representam; porque, de outra maneira, não haveria qualquer distinção entre o objeto e sua imagem, mas basta que elas se lhes assemelhem em poucas coisas e até, muitas vezes, sua perfeição depende do fato de elas não se lhes assemelharem tanto quanto poderiam fazer. Como vedes que as gravuras, sendo feitas de um pouco de tinta colocada aqui e ali sobre o papel, representam-nos florestas, cidades, homens, e mesmo batalhas e tempestades, ainda que de uma infinidade de diferentes qualidades que elas nos fazem conceber nesses objetos, há aí apenas uma figura, com a qual elas tenham propriamente semelhança, mas, ainda assim, é uma semelhança bem imperfeita, visto que sobre uma superfície completamente plana, elas nos apresentam corpos com diversos relevos e profundidades e que, até mesmo, conforme as regras da perspectiva, frequentemente elas representam melhor os círculos por ovais do que por outros círculos, e os quadrados por losangos do que por outros quadrados, e assim para todas as outras figuras, de tal modo que comumente, para serem mais perfeitas na qualidade de imagens e representarem melhor um objeto, elas não devem assemelhar-se a eles. Ora, devemos pensar o mesmo das imagens que se formam em nosso cérebro e observar que é somente questão de saber como elas podem servir de meios para a alma sentir todas as diferentes qualidades dos objetos aos quais elas se relacionam, e não como elas têm em si sua semelhança. Como [114] quando o cego, do qual falamos acima, toca alguns corpos por meio de sua bengala, é certo que esses corpos não enviam outra coisa até ele, senão que, fazendo mover diversamente seu bastão segundo as diferentes qualidades que estão neles, eles movem pelo mesmo meio os nervos de sua mão e, em seguida, os lugares de seu cérebro de onde vêm esses nervos; o que dá ocasião a sua alma de sentir tantas qualidades diferentes nesses corpos, quantas são as variedades que se encontram nos movimentos que são causados por eles em seu cérebro.

[165] Discurso viii

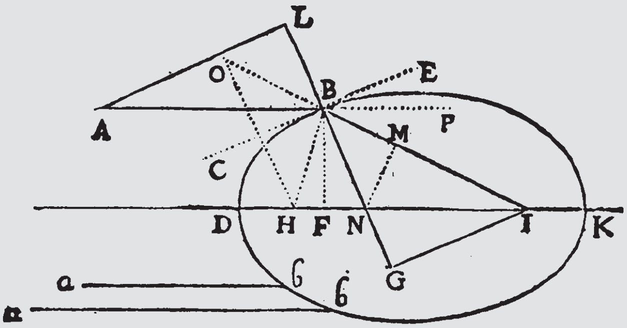
Das figuras que devem possuir os corpos transparentes para desviar os raios pela refração de todos os modos que servem à visão

Agora, a fim de poder dizer mais exatamente de que modo devemos fazer esses órgãos artificiais, para torná-los o mais perfeito que possam ser, é necessário que eu explique primeiramente as figuras que devem ter as superfícies dos corpos transparentes para dobrar e desviar os raios de luz de todos os modos que possam servir ao nosso propósito. No que, se eu não posso ser claro e inteligível para todos, por tratar-se de uma matéria de geometria um pouco difícil, tentarei pelo menos sê-lo o suficiente para aqueles que tenham apenas [166] aprendido os primeiros elementos dessa ciência. E, de início, para não deixá-los em suspense, dir-lhes-ei que todas as figuras, de que falarei aqui, não estarão compostas mais que de elipses ou hipérboles, e de círculos ou de linhas retas.

A elipse, ou a oval, é uma linha curva que os matemáticos se habituaram a expor, cortando transversalmente um cone ou cilindro, e que algumas vezes também vi ser utilizada por jardineiros nos locais dos seus canteiros, onde eles a descrevem de uma maneira extremamente grosseira e pouco exata, mas que permite, ao que me parece, compreender melhor a sua natureza que a seção de um cilindro ou cone. Os jardineiros cravam no solo duas estacas, como, por exemplo, uma no ponto *H* e a outra no ponto *I*, e, tendo atado as duas extremidades de uma corda, eles a passam em torno delas, do modo como vedes em *BHI*. Depois, colocando a extremidade de um dedo nessa corda, eles a conduzem em torno dessas duas estacas, estirando a corda sempre com força



igual, a fim de mantê-la igualmente tensionada e de descrever desse modo sobre a terra a linha curva *DBK*, que é uma elipse. E se, sem mudar o comprimento dessa corda *BHI*, cravam as estacas *H* e *I* um pouco mais próximas uma da outra, eles descreverão novamente uma elipse, mas que será de um tipo diferente da precedente; e se eles as colocam ainda um pouco mais próximas, [167] descreverão ainda uma outra; e, enfim, se eles as juntam, será um círculo que eles descreverão. Ao passo que, se diminuírem o comprimento da corda na mesma proporção que a distância dessas estacas, eles descreverão elipses que serão diferentes em tamanho, mas que serão todas do mesmo tipo. E assim vedes que pode existir uma infinidade de espécies, todas diferentes, de modo que elas não difiram entre si menos que a última faz do círculo, e que de cada tipo pode-se obter de todos os tamanhos. E que, se de um ponto, como *B*, tomado arbitrariamente em qualquer uma dessas elipses, traçar-se duas linhas retas em direção aos dois pontos *H* e *I*, onde as duas estacas devem ser colocadas para descrevê-las, essas duas linhas *BH* e *BI*, tomadas juntas, serão iguais a seu diâmetro maior *DK*, como se prova facilmente pela construção. Pois a porção da corda que se estende de *I* para *B* e daí se dobra até *H*, é a mesma que se estende de *I* para *K* ou para *D* e daí se dobra também até *H*; de modo que *DH* é igual a *IK*, enquanto *HD* mais *DI*, que valem tanto quanto *HB* mais *BI*, são iguais a toda *DK*. Enfim, as elipses que descrevemos, colocando sempre a mesma proporção entre seus diâmetros maiores *DK* e a distância dos pontos *H* e *I*, são todas de uma mesma espécie. E devido a certa propriedade desses pontos *H* e *I*, tal como entendereis a seguir, nós os chamaremos de pontos "*ardentes*", um interno e outro externo, a saber, se os relacionamos à metade da elipse que está em direção a *D*, *I* será exterior; e se os relacionamos à outra [168] metade da elipse que está em direção a *K*, ele será o interior; e quando

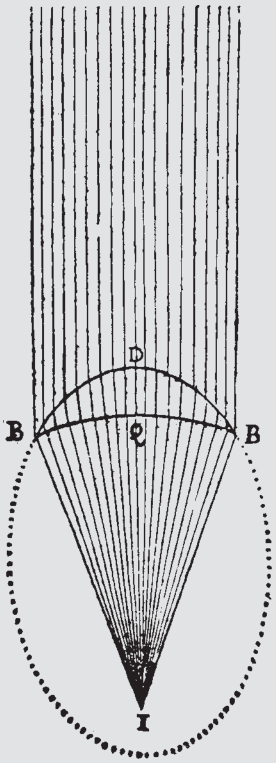


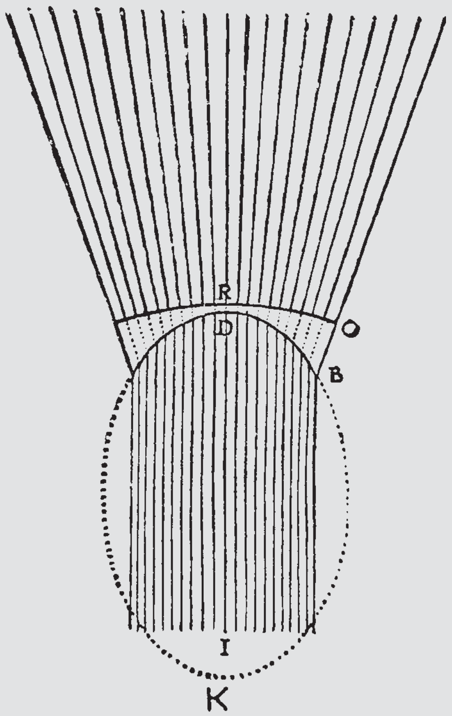
falarmos sem distinção em um ponto ardente, nós desejamos sempre falar do ponto exterior. Posteriormente, além disso, é necessário que vos saibais que, se por esse ponto *B* traçarmos as duas linhas retas *LBG* e *CBE*, que se cortam entre si em ângulos retos e das quais uma, *LG*, divide o ângulo *HBI* em duas partes iguais, a outra *CE* tocará essa elipse nesse ponto *B* sem cortá-la.

Do que eu não forneço a demonstração, porque os geômetras a sabem bem e os outros não fariam mais que se enfadar em procurar entendê-la. Mas o que eu desejo particularmente explicar-vos aqui é que, se traçarmos ainda desse ponto *B*, fora da elipse, a linha reta *BA* paralela ao maior diâmetro *DK* e se, tendo-a tomado igual a *BI*, dos pontos *A* e *I*, traçar-se sobre *LG* as duas perpendiculares *AL* e *IG*, essas duas últimas *AL* e *IG* terão entre si a mesma proporção que as duas *DK* e *HI*. De modo que se a linha *AB* é um raio de luz, e que essa elipse *DBK* esteja na superfície de um corpo transparente todo sólido, pelo qual, segundo o que foi dito acima, os raios passam mais facilmente do que pelo ar, na mesma proporção em que a linha *DK* é maior do que *HI*, esse raio *AB* será tão desviado no ponto *B*, pela superfície desse corpo transparente, que ele irá daí para *I*. E dado que esse ponto *B* é tomado arbitrariamente [169] na elipse, tudo que eu já disse aqui do raio *AB* deve-se entender de modo geral de todos os raios paralelos ao eixo *DK*, que caem sobre qualquer ponto dessa elipse, a saber, que eles serão todos tão desviados, que irão daí para o ponto *I*.

Ora, isso é demonstrado do seguinte modo. Primeiramente, se for traçada do ponto *B* a linha *BF*, perpendicular sobre *KD*, e se do ponto *N*, onde *LG* e *KD* se cortam, traçar-se também a linha *NM* perpendicular sobre *IB*, encontraremos que *AL* está para *IG* assim como *BF* está para *NM*. Pois, de uma parte, os triângulos *BFN* e *BLA* são semelhantes, porque eles são triângulos retângulos e, sendo *NF* e *BA* paralelas, os ângulos *FNB* e *ABL* são iguais; e, de outra parte, os triângulos *NBM* e *IBG* são também semelhantes, por serem retângulos e o ângulo em B ser comum a todos os dois. E, além disso, os dois triângulos *BFN* e *BMN* têm a mesma relação entre si que os dois *ALB* e *BGI*, porque, como as bases destes, *BA* e *BI*, são iguais, assim *BN*, que é a base do triângulo *BFN*, é igual a si mesma por ser também a base do triângulo *BMN*. Donde segue-se evidentemente que assim como *BF* está para *NM*, assim também *AL*, aquele dos lados do triângulo *ALB* que se relaciona a *BF* no triângulo *BFN*, isto é, que é subentendida pelo mesmo ângulo, está para *IG*, aquele dos lados do triângulo *BGI* que se relaciona [170] devido a que tanto as linhas *AB* e *NI*, quanto *AL* e *GI*, são paralelas, os triângulos *ALB* e *IGN* são semelhantes; donde se segue que *AL* está para *IG* assim como *AB* está para *NI*, ou ainda, porque *AB* e *BI* são iguais, assim como *BI* está para *NI*. Depois, se traçarmos *HO* paralela a *NB* e se prolongarmos *IB* até *O*, veremos que *BI* está para *NI* assim como *OI* está para *HI*, devido a que os triângulos *BNI* e *OHI* são semelhantes. Enfim, os dois ângulos *HBG* e *GBI* sendo iguais por construção, *HOB*, que é igual a *GBI*, é também igual a *OHB*, porque este é igual a *HBG*; e, por conseguinte, o triângulo *HBO* é isósceles e a linha *OB*, sendo igual a *HB*, toda a *OI* é igual a *DK*, na medida em que as duas juntas, *HB* e *IB*, são-lhes iguais. E, assim, para retomar do primeiro ao último, *AL* está para *IG* assim como *BI* para *NI*, e *BI* está para *NI* assim como *OI* para *HI*, e *OI* é igual a *DK*; portanto, *AL* está para *IG* assim como *DK* está para *HI*.

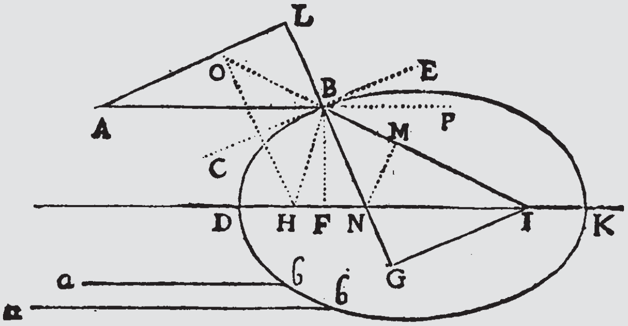
Ainda que, para traçar a elipse *DBK*, damos às linhas *DK* e *HI* a proporção que tivermos conhecido, por experiência, ser [171] aquela que serve para medir a refração de todos os raios que passam obliquamente do ar para dentro de algum vidro, ou outra matéria transparente que desejemos empregar; e que façamos um corte desse vidro que tenha a figura que descreveria essa elipse, se ela se movesse circularmente em torno do eixo *DK*, os raios que estarão no ar paralelos a esse eixo, tal como *AB*, *ab*, entrando nesse vidro, desviam-se de tal modo que eles irão todos juntar-se no ponto ardente *I*, que dos dois, *H* e *I*, é o mais distante do local donde eles vêm. Pois saibais que o raio *AB* deve ser desviado no ponto *B*, pela superfície curva do vidro, que representa a elipse *DBK*, do mesmo modo que ele o seria pela superfície plana do mesmo vidro que representa a linha reta *CBE*, no qual ele deve ir de *B* para *I*, porque *AL* e *IG* estão entre si como *DK* está para *HI*, isto é, como eles devem ser para medir a refração. E tendo-se tomado arbitrariamente o ponto *B* na elipse, tudo o que demonstramos desse raio *AB*, deve entender-se da mesma maneira de todos os outros paralelos a *DK*, que caem sobre os outros pontos dessa elipse, de tal modo que eles devem todos ir para *I*.



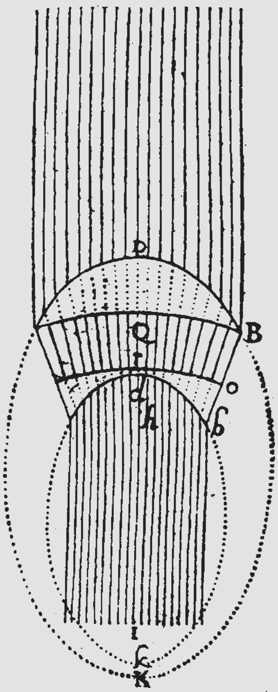


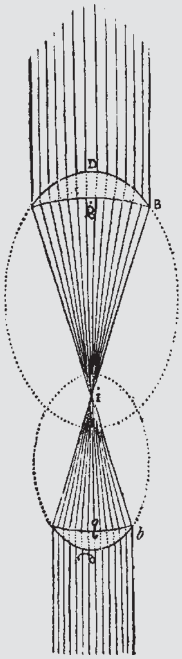
Ademais, dado que todos os raios que tendem para o centro de um círculo ou de um globo, caindo perpendicularmente sobre sua superfície, não devem sofrer nenhuma refração, se do centro *I*, fizermos um círculo na distância que desejarmos, desde que ele passe entre *D* e *I*, como *BQB*, as linhas *DB* e *QB*, girando em torno do eixo *DQ*, descreverão a figura de um vidro que reunirá no ar, no ponto *I*, todos os raios [172] que estariam do outro lado, também no ar, paralelos a esse eixo; e reciprocamente que fará que todos esses que vierem do ponto *I*, tornar-se-ão paralelos do outro lado.

E se do mesmo centro *I* descrevemos o círculo *RO*, à distância que desejarmos para além do ponto *D*, e tendo tomado arbitrariamente o ponto *B* na elipse, desde que, todavia, ele não seja mais afastado de *D* do que de *K*, traçarmos a linha reta *BO*, que tende para *I*, as linhas *RO*, *OB* e *BD*, movidas circularmente em torno do eixo *DR*, descreverão a figura de um vidro que fará que os raios paralelos a esse eixo do lado da elipse afastem-se aqui e ali do outro lado, como se eles viessem todos do ponto *I*. Pois é [173] manifesto que, por exemplo, o raio *PB* deve ser tão desviado pela superfície côncava do vidro *DBA*, como *AB* pela convexa do vidro *DBK* e, por conseguinte, que *BO* deve estar na mesma linha reta que *BI*, posto que *PB* está na mesma linha reta que *BA*; e assim para os outros.



E se novamente, na elipse *DBK*, descrevermos uma outra menor, mas do mesmo tipo, como *dbk*, cujo ponto ardente, marcado *I*, esteja no mesmo lugar que aquele da precedente, também marcado *I*, e o outro *h* na mesma linha reta e para o mesmo lado que *DH*, e se, tendo tomado arbitrariamente *B*, tal como representado no desenho, traçarmos a linha reta *Bb* que tende para *I*, as linhas *DB*, *Bb*, *bd*, movidas em torno do eixo *Dd*, descreverão a figura de um vidro que fará que todos os raios, que antes de encontrá-lo eram paralelos, achar-se-ão novamente paralelos após ter saído dele; e com isso, eles serão mais fechados e ocuparão um menor espaço do lado da elipse menor *db*, que daquele da maior. E se, para evitar a espessura desse vidro *DBbd*, descrevermos com centro *I* os círculos *QB* e *ro*, as superfícies *DBQ* [174] e *robd* representarão as figuras e a situação de dois vidros menos espessos, que terão nisso feito o mesmo efeito.



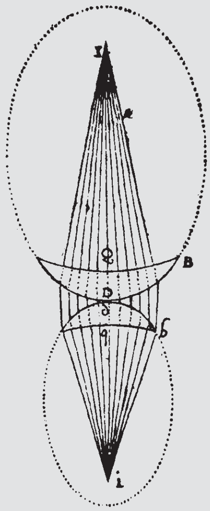


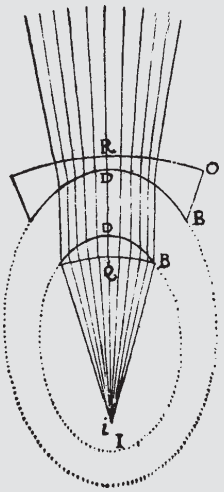
Se dispormos os dois vidros semelhantes *DBQ* e *dbq*, diferentes em tamanho, de tal modo que seus eixos estejam em uma mesma linha reta e seus dois pontos ardentes exteriores, marcados *I*, estejam em um mesmo lugar, e que suas superfícies circulares *BQ*, *bq*, olhem-se entre si, terão também nisso o mesmo efeito.

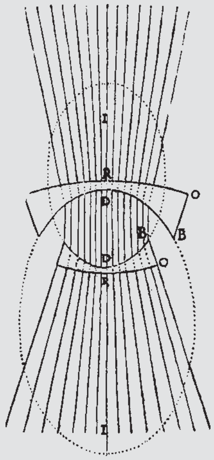
E se juntarmos esses dois vidros semelhantes e diferentes em tamanho *DBQ* e *dbq*, ou se os colocarmos à distância que desejarmos um do outro, desde que somente seus eixos estejam na mesma linha reta e que suas superfícies elípticas se olhem, farão que todos os raios que vêm do ponto ardente de um marcado *I* irão reunir-se no outro também marcado *I*.

E, ainda, se juntarmos os dois diferentes *DBQ* e *DBOR*, também de tal modo que suas superfícies *DB* e *BD* se olhem, eles farão que os raios que vierem do ponto *i*, que a elipse do vidro *DBQ* tem por seu ponto ardente, separar-se-ão como se eles viessem do ponto *I*, que é o ponto ardente do vidro *DBOR*, ou, reciprocamente, que aqueles que tendem para o ponto *I*, irão reunir-se no outro marcado *i*.

[175] E, enfim, se juntarmos *DBOR* e *DBOR*, de modo que suas superfícies *DB*, *BD* se olhem, faremos que os raios que, ao atravessar um desses vidros, tendem para além de *I*, distanciem-se ainda mais, saindo do outro, como se viessem do outro ponto *I*.

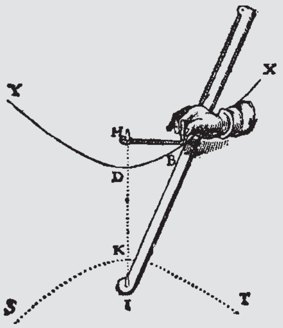




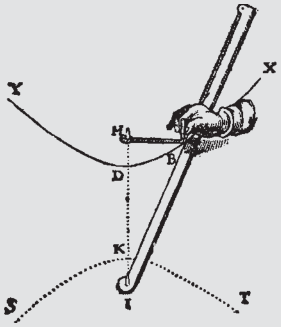


E podemos fazer a distância de cada um desses pontos, marcados por *I*, maior ou menor quanto desejarmos, mudando o tamanho da elipse da qual ele depende. De modo que, utilizando unicamente a elipse e a linha circular, podemos descrever os vidros que fazem que os raios que vêm de um ponto, ou tendem para um ponto, ou são paralelos, mudem de um [176] a outro desses três tipos de disposições, de todas as maneiras que possam ser imaginadas.

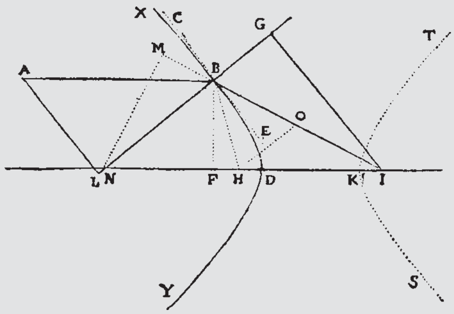
A hipérbole é também uma linha curva que os matemáticos explicam pela seção de um cone, tal como a elipse. Mas, com o fim de vos fazer concebê-la melhor, introduzirei ainda aqui um jardineiro que se serve de um compasso para desenhar as bordas de algum passeio. Ele planta novamente suas duas estacas nos pontos *H* e *I*; e tendo atado a uma extremidade de uma longa régua uma extremidade de uma corda um pouco mais curta, ele faz uma cavidade redonda na outra



extremidade dessa régua, na qual ele faz entrar a estaca *I*, e, por uma argola na outra extremidade da corda, ele passa a estaca *H*. Depois, colocando o dedo no ponto *X*, onde elas estão encostadas uma à outra, ele as corre de lá para baixo até *D*, tendo, entretanto, a corda sempre toda junta, e como que colada, contra a régua desde o ponto *X* até o lugar onde ele a toca, mantendo-a com isso toda tensa; por esse meio, obrigando essa régua a girar em torno da estaca *I*, na medida em que abaixa seu dedo, descreve sobre a terra a linha curva *XBD*, que é uma parte de uma hipérbole. E, após isso, girando sua régua do outro lado em direção a *Y*, descreve do mesmo modo a outra parte *YD* da hipérbole. Além disso, se ele põe a argola de sua corda na estaca *I*, e o orifício de sua régua na estaca *H*, ele descreverá uma outra [177] hipérbole *SKT*, completamente semelhante e oposta à precedente. Mas se, sem mudar suas estacas nem sua régua, ele deixar sua corda apenas um pouco mais longa, descreverá uma hipérbole de outro tipo; e se a fizer ainda um pouco mais longa, descreverá ainda um outro tipo, até que fazendo-a inteiramente igual à régua, descreverá, ao invés de uma hipérbole, uma linha reta. Depois, se mudar a distância dessas estacas na mesma proporção que a diferença que existe entre os comprimentos da régua e da corda, descreverá hipérboles que serão todas do mesmo tipo, mas cujas partes semelhantes serão diferentes em tamanho. E, enfim, se ele aumenta igualmente os comprimentos da corda e da régua, sem mudar sua diferença, nem a distância entre as duas estacas, ele descreverá sempre uma mesma hipérbole, mas descreverá uma maior parte da hipérbole. Pois essa linha é de tal natureza que, embora ela se curve sempre de mais em mais para um mesmo lado, ela pode, todavia, estender-se ao infinito, sem que jamais suas extremidades se reencontrem. E assim vedes que ela tem de várias maneiras a mesma relação com a linha reta, que a elipse tem com a linha circular. Vedes também que existe uma infinidade de tipos diferentes e que, em cada tipo, existe uma infinidade, cujas partes semelhantes são diferentes em tamanho. E, ademais, que se de um ponto, como *B*, tomado arbitrariamente em uma delas,



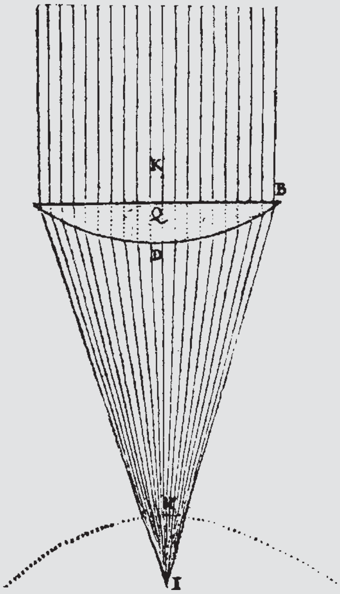
traçarmos duas linhas retas para os dois pontos, como *H* e *I*, onde as duas estacas devem ter sido colocadas para descrevê-la, e que nós nomeamos ainda de pontos ardentes, a diferença [178] dessas duas linhas *HB* e *IB* será sempre igual à linha *DK*, que marca a distância que existe entre as hipérboles opostas. O que se mostra a partir de que *BI* é mais comprida do que *BH*, devido justamente à régua ter sido tomada mais comprida do que a corda e que *DI* é também tanto mais comprida do que *DH*. Pois, se encurtamos esta, *DI*, na distância *KI*, que é igual a *DH*, teremos DK como sua diferença. E, enfim, vedes que as hipérboles que descrevemos colocando sempre a mesma proporção entre *DK* e *HI*, são todas de um mesmo tipo. Além disso, é necessário que saibais que, se pelo ponto *B*, tomado arbitrariamente em uma hipérbole, traçarmos a linha reta *CE*, que divide o ângulo *HBI* em duas partes iguais, a mesma *CE* tocará essa hipérbole no ponto *B*, sem a cortar; do que os geômetras conhecem bem a demonstração.

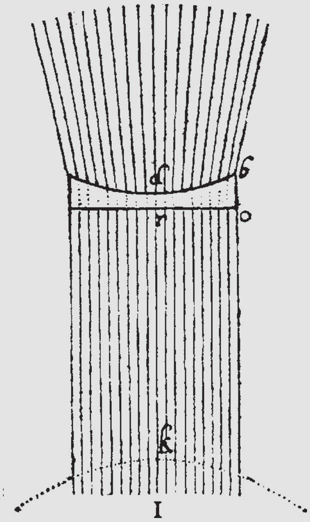


[179] Mas desejo fazer-vos ver a seguir que, se desse mesmo ponto *B* traçarmos para o interior da hipérbole a linha reta *BA* paralela a *DK* e se traçarmos também pelo mesmo ponto *B* a linha *LG* que corta *CE* em ângulos retos; e se, depois, tendo tomado *BA* igual a *BI*, dos pontos *A* e *I* traçarmos sobre *LG* as duas perpendiculares *AL* e *IG*, [então] estas duas últimas, *AL* e *IG*, terão entre si a mesma proporção que as duas *DK* e *HI*. Em seguida, se damos a figura dessa hipérbole a um corpo de vidro, no qual as refrações se medem pela proporção que se encontra entre as linhas *DK* e *HI*, ela fará que todos os raios que são paralelos ao seu eixo, nesse vidro, irão reunir-se no exterior no ponto *I*, pelo menos se esse vidro é convexo e, se ele é côncavo, eles se distanciarão aqui e lá, como se viessem deste ponto *I*.

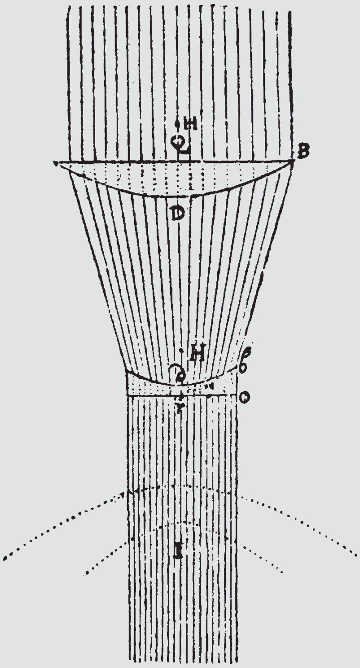
O que pode ser assim demonstrado: primeiramente, se traçarmos do ponto *B* a linha *BF* perpendicular sobre *KD*, prolongada tanto quanto for necessário, e do ponto

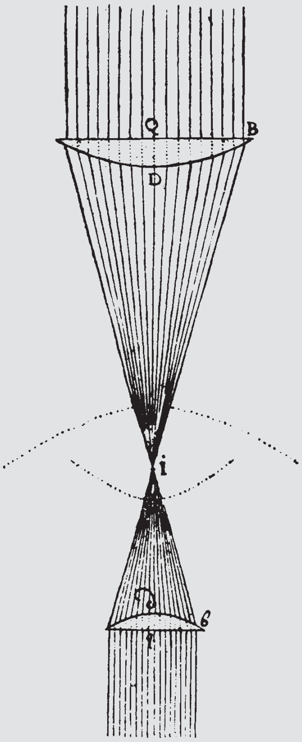
N, onde *LG* e *KD* se cortam, a linha *NM* perpendicular sobre *IB* também prolongada, encontraremos que *AL* está para *IG* assim como *BF* está para *NM*. Pois, de uma parte, os triângulos *BFN* e *BLA* são semelhantes, porque os dois são triângulos retângulos e porque *NF* e *BA*, sendo paralelas, os ângulos *FNB* e *LBA* são iguais. E, de outra parte, os triângulos *IGB* e *NMB* são também semelhantes, porque são retângulos e os ângulos *IBG* e *NBM* são iguais. E, além disso, como, pela mesma [180] causa, tanto as linhas *AB* e *NI*, quanto *AL* e *GI* são paralelas, os triângulos *ALB* e *IGN* são semelhantes, donde se segue que *AL* está para *IG* assim como *AB* está para *NI*, ou ainda, porque *AB* e *BI* são iguais, assim como *BI* está para *NI*. Depois, se traçarmos *HO* paralela a *LG*, veremos que *BI* está para *NI* assim como *OI* está para *HI*, em virtude de que os triângulos *BNI* e *OHI* são semelhantes. Enfim, os dois ângulos *EBH* e *EBI*, sendo iguais por construção, e *HO*, que é paralelo a *LG*, cortando como ela *CE* em ângulos retos, os dois triângulos *BEH* e *BEO* são inteiramente iguais. E assim, *BH*, a base de um, [181] sendo igual a *BO*, a base do outro, resta *OI*, como a diferença que existe entre *BH* e *BI*, a qual dissemos ser igual a *DK*. Mas *AL* está para *IG* assim como *DK* está para *HI*. Donde se segue que, colocando sempre entre as linhas *DK* e *HI* a proporção que pode servir para medir as refrações do vidro ou de outra matéria que desejarmos empregar, como fizemos para traçar as elipses, exceto que *DK* não pode ser aqui senão a mais curta, ao passo que ela não podia ser anteriormente senão a mais comprida. Se traçarmos uma parte da hipérbole tão grande quanto desejarmos, como *DB*, e de *B* fizermos descer em ângulo reto sobre *KD* a linha reta *BQ*, as duas linhas *DB* e *QB*, girando em torno do eixo *DQ*, descreveremos a figura de um vidro que fará que todos os raios que o atravessem e que forem no ar paralelos a esse eixo do lado da superfície plana *BD*, na qual, como sabeis, eles não sofrerão nenhuma refração, eles reunir-se-ão do outro lado no ponto *I*.





E se, tendo traçado a hipérbole *db* semelhante à [182] precedente, traçarmos a linha reta *ro* no lugar que desejarmos, sempre que, sem cortar essa hipérbole, ela caia perpendicularmente sobre seu eixo *dk*, e se unirmos os dois pontos *b* e *o* por uma outra linha reta paralela a *dk*, as três linhas *ro*, *ob* e *bd*, movidas em torno do eixo *dk*, descreverão a figura de um vidro que fará que todos os raios que forem paralelos a seu eixo, do lado da superfície plana, afastar-se-ão lá e cá do outro lado, como se eles viessem do ponto *I*.





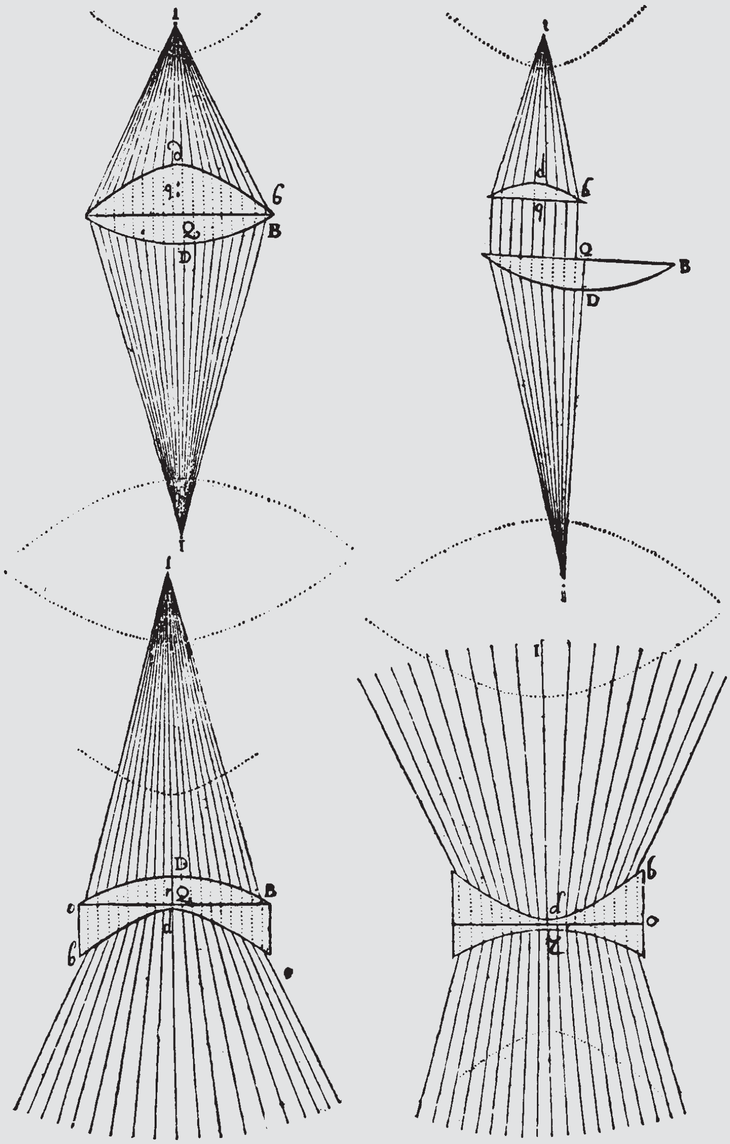
E se, tendo tomado a linha *HI* mais curta, para traçar a hipérbole do vidro *robd*, que para traçar esta do vidro *DBQ*, dispomos esses dois vidros de tal modo que seus eixos *DQ*, *rd* estejam na mesma linha reta, seus dois pontos ardentes marcados *I* no mesmo lugar, e suas duas superfícies hiperbólicas se olhem, eles farão que todos os raios que antes de encontrá-los, eram paralelos a seus eixos, ainda o serão após ter atravessado todos os dois e, com isso, serão contidos em um espaço menor do lado do vidro *robd* do que do outro.

E se dispormos os dois vidros semelhantes *DBQ* e *dbq*, diferentes no tamanho, de tal modo que seus eixos *DQ*, *dq* estejam também na mesma linha reta e seus dois pontos ardentes, marcados *I*, estejam no mesmo lugar, [183] e que suas duas superfícies hiperbólicas se olhem, eles farão, tal como os precedentes, que os raios paralelos de um lado de seu eixo também sejam paralelos do outro lado, e, com isso, farão que se estreitem em menos espaço do lado do vidro menor.

E se juntarmos as superfícies planas desses dois vidros *DBQ* e *dbq*, ou se os colocarmos à distância que desejarmos um do outro, desde que somente suas superfícies planas se olhem, sem que seja necessário com isso que seus eixos estejam na mesma linha reta, ou melhor, se compormos um outro vidro que tenha a figura desses dois unidos assim, faremos por seu intermédio que os raios que vêm de um dos pontos marcados *I* irão juntar-se no outro do outro lado.

E se compormos um vidro que tenha a figura dos dois *DBQ* e *robd*, tão juntos que suas superfícies planas se toquem, faremos que os raios que vierem de um dos pontos *I* afastem-se como se tivessem vindo do outro.

E, enfim, se compormos um vidro que tem a figura dos dois, tais como *robd*, novamente tão juntos que suas superfícies planas se toquem, faremos que [184] os raios



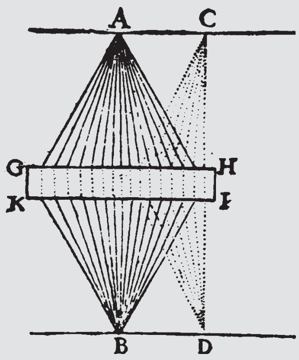
que encontrem esse vidro, afastando-se como para juntarem-se no ponto *I*, que está do [185] outro lado, sejam de novo afastados, após terem atravessado, como se eles tivessem vindo do outro ponto *I*.

E tudo isso é, parece-me, tão claro, que é necessário apenas abrir os olhos e considerar as figuras para compreender.

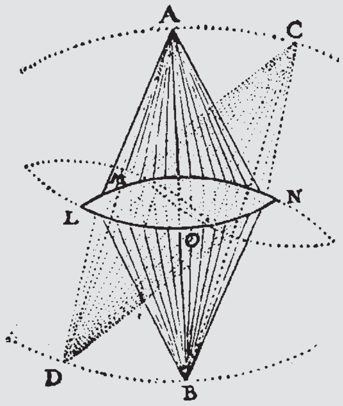
Quanto ao resto, as mesmas mudanças desses raios, que eu acabo de explicar primeiramente por meio de dois vidros elípticos e depois por dois hiperbólicos, podem também ser causadas por dois vidros, dos quais um seja elíptico e o outro hiperbólico. E, além do mais, podemos ainda imaginar uma infinidade de outros vidros que fazem, como estes aqui, que todos os raios que vêm de um ponto, ou tendem para um ponto, ou são paralelos, mudem exatamente de uma a outra dessas três disposições. Mas não penso ter aqui nenhuma necessidade de falar disso, porque eu poderia mais comodamente explicá-las aqui depois em *A geometria*, e estes que eu descrevi são os mais apropriados de todos para meu propósito, como me proponho provar agora e fazer-vos ver, pelo mesmo meio, quais dentre eles são os mais adequados, fazendo-vos considerar todas as principais coisas em que eles diferem.

A primeira é que as figuras de uns são muito mais fáceis de traçar que aquelas dos outros; e é certo que depois da linha reta, da circular e da parábola, que não podem bastar sozinhas para traçar nenhum desses vidros, como cada um poderá facilmente ver, se o examinar, que não há nada mais simples que a elipse e a hipérbole. De modo que sendo a linha reta mais fácil de traçar que a circular, e a hipérbole não sendo menos fácil que a elipse, aqueles cujas **[186]** figuras são compostas de hipérboles e de linhas retas, são os mais fáceis de cortar que possam existir; depois, em seguida, aqueles cujas figuras são compostas de elipses e de círculos, de modo que todas as outras figuras que eu não expliquei o são menos.

A segunda é que entre as várias que mudam todas da mesma maneira a disposição dos raios que se dirigem a um só ponto, ou vêm paralelas de um só lado, aquelas cujas superfícies são as menos curvas, ou ainda, as menos desiguais, de modo que elas causam refrações menos desiguais, mudam sempre um pouco mais exatamente do que as outras a disposição dos raios que se dirigem aos outros pontos, ou que vêm dos outros lados. Mas, para entender isso perfeitamente, deve-se considerar que é unicamente a desigualdade da curvatura das linhas das quais são compostas as figuras desses vidros, que impede que eles mudem tão exatamente a disposição dos raios que se dirigem a vários pontos diferentes, ou vêm paralelos de vários lados diferentes, que são os que se dirigem a um só ponto, ou são paralelos de um só lado. Pois, por exemplo, se para fazer que todos os raios que vêm do ponto *A* reúnam-se no ponto *B*, é necessário que o vidro *GHIK*, que colocamos entre dois, tenha suas superfícies todas planas, de modo que a linha reta *GH*, que representa uma, tenha a propriedade de fazer que

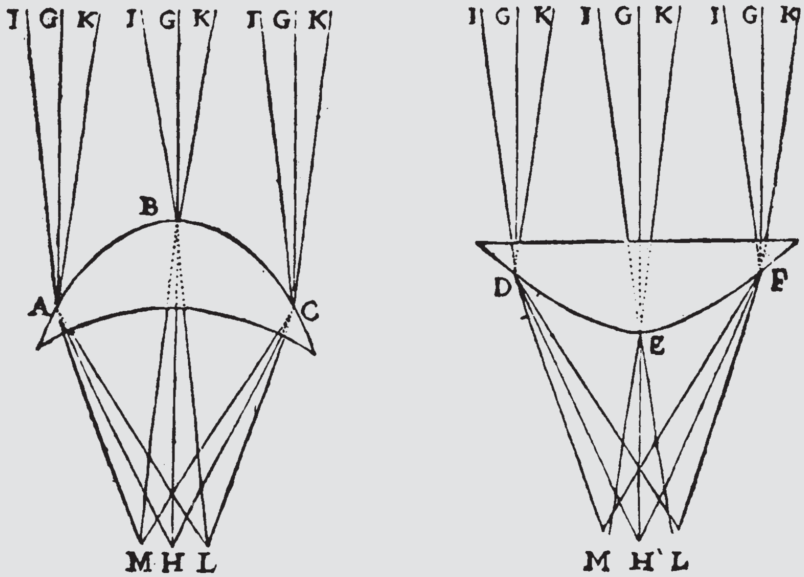


todos esses raios, [187] vindos do ponto *A*, ficassem paralelos no vidro e, pelo mesmo meio, que a outra linha reta *KI* fizesse que de lá eles fossem reunir-se no ponto *B*, essas mesmas linhas *GH* e *KI* fariam também que todos os raios vindos do ponto *C* fossem reunir-se no ponto *D*; e, geralmente, que todos aqueles que vierem de qualquer um dos pontos da linha reta *AC*, que suponho paralela a *GH*, irão reunir-se em qualquer um dos pontos de *BD*, que suponho também paralela a *KI*, e tão distante dela quanto *AC* é de *GH*. Na medida em que essas linhas *GH* e *KI* não tenham nenhuma curvatura, todos os pontos dessas outras *AC* e *BD* relacionam-se a elas da mesma maneira que entre si.



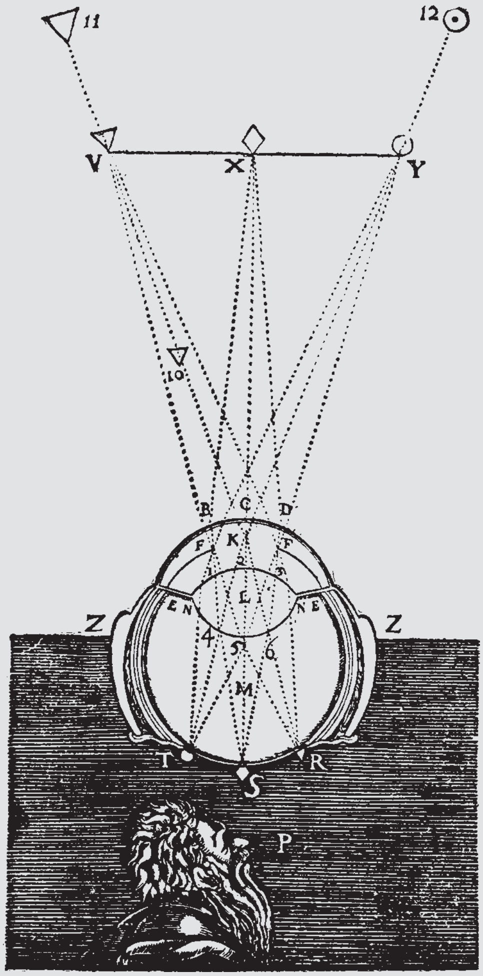
Do mesmo modo, se tomássemos o vidro *LMNO*, do qual suponho as superfícies *LMN* e *LON* serem duas porções iguais da esfera, que tenham a propriedade de fazer que todos os raios vindos do ponto *A* irão reunir-se no ponto *B*, ele teria também de fazer que aqueles do ponto *C* se reunissem no ponto *D* e, geralmente, que todos aqueles de qualquer um dos pontos da superfície *CA*, que suponho ser uma porção da esfera que tem o mesmo centro que *LMN*, reunir-se-iam em qualquer um desses de *BD*, que suponho ser também uma parte da esfera que tem o mesmo centro que *LON*, e que é tão distante quanto *AC* é de *LMN*; na medida em que todas as partes dessas superfícies *LMN* e *LON* são igualmente curvadas com respeito a todos os pontos [188] que estão nas superfícies *CA* e *BD*. Mas, devido a que não há outras linhas na natureza, além da reta e da circular, das quais todas as partes se relacionam da mesma maneira a muitos pontos diferentes, e que nem uma nem outra podem bastar para compor a figura de um vidro, que faça que todos os raios que vêm de um ponto reúnam-se exatamente em um outro ponto, é evidente que nenhuma das que são requeridas fará que todos os raios, que vêm de alguns outros pontos, reúnam-se exatamente em outros pontos; e que, para escolher aquelas dentre elas que podem fazer que esses raios distanciem-se o menos possível dos lugares onde nós os desejamos reunir, deve-se tomar os vidros menos curvos e menos desigualmente curvados, a fim de que elas se aproximem o máximo da reta ou da circular, e ainda mais da reta que da circular, devido a que as partes da circular não se relacionam do mesmo modo senão a todos os pontos que são igualmente distantes de seu centro, e não se relacionam a nenhum outro do mesmo modo que elas fazem com o seu centro. Donde é fácil concluir que nisso a hipérbole é melhor que a elipse, e que é impossível de imaginar vidros de alguma outra figura, que reúnam todos os raios vindos de pontos diferentes, de tantos outros pontos igualmente distantes deles, tão exatamente quanto aquele cuja figura é composta de hipérboles. E até mesmo, sem que eu pare aqui para fazer-vos uma demonstração mais exata, podereis facilmente aplicar isso às outras maneiras de mudar a disposição dos raios que se relacionam a pontos diferentes ou que vêm paralelos de diferentes lados [189] e conhecer, de uma vez por todas, que os vidros hiperbólicos são os mais adequados que qualquer outro ou, pelo menos, que eles não são notadamente menos adequados, de modo que isso não pode ser colocado em oposição à facilidade deles serem talhados, no que eles ultrapassam todos os outros.

A terceira diferença desses vidros é que alguns fazem que os raios, que se cruzam ao atravessá-los, encontrem-se um pouco mais separados de um de seus lados do que do outro, e que outros fazem tudo ao contrário. Como se os raios *G, G* são os que vêm do centro do Sol, e que *I, I* sejam aqueles que vêm do lado esquerdo de sua circunferência,

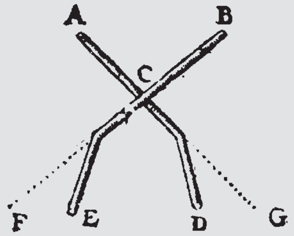


e *K, K* os que vêm da direita, esses raios separam-se um pouco mais uns dos outros, após ter atravessado o vidro hiperbólico *DEF*, do que eles faziam anteriormente e, ao contrário, eles se afastam menos após ter atravessado o vidro elíptico *ABC*, de modo que esta elíptica torna os pontos *L*, *H*, *M* mais próximos uns dos outros do que [190] faz a hiperbólica e ele os torna tanto mais próximos quanto é mais espesso. Mas, ainda assim, por mais espesso que possamos fazê-lo, ele não pode torná-los mais que aproximadamente um quarto ou um terço mais próximos que o hiperbólico. O que se mede pela quantidade das refrações causadas pelo vidro, de modo que o cristal da montanha, no qual eles são um pouco maiores, deve tornar essa desigualdade um pouco maior. Mas não há vidro, de nenhuma outra figura que possamos imaginar, que faça que os pontos *L*, *H*, *M* sejam claramente mais distanciados do que faz a hiperbólica, nem menos do que faz a elíptica.

Ora, podeis aqui notar, nesta ocasião, em que sentido se deve entender o que eu disse acima, que os raios vindos de diferentes pontos, ou paralelos de diferentes lados, cruzam-se todos desde a primeira superfície que tem a potência de fazer que eles se juntem mais ou menos em tantos outros pontos diferentes, como quando eu disse que os do objeto *VXY*, que formam a imagem *RST* sobre o fundo do olho, cruzam-se desde a primeira de suas superfícies *BCD*. O que depende de que, por exemplo, os três raios *VCR*, *XCS* e *YCT* cruzem-se verdadeiramente sobre essa superfície *BCD* no ponto *C*; donde vem que, ainda que *VDR* se cruze com *YBT* muito mais alto, e *VBR* com *YDT* muito mais baixo, ainda assim, porque eles tendem para os mesmos pontos que *VCR* e *YCT*, podemos considerá-los do mesmo modo que se eles se cruzassem também no mesmo lugar. E no que diz respeito a essa superfície *BCD* que faz assim que tendam para os mesmos pontos, devemos antes pensar que é no lugar onde ela está, que eles [191] se cruzam todos, e não mais alto nem mais baixo, sem mesmo que as outras superfícies, como

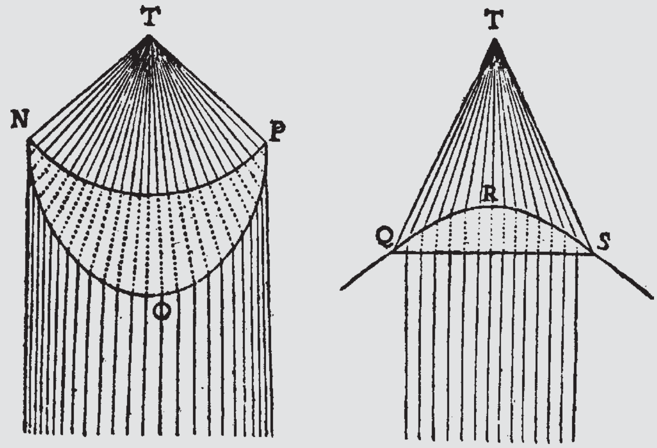


[192] *123* e *456*, possam desviá-los, impedindo-os. Não mais que, ainda que os dois bastões *ACD* e *BCE*, que são curvos, afastem-se muito dos pontos *F* e *G*, para os quais eles se dirigiam, se, cruzando-se como fazem no ponto *C*, com isso eles eram retos, não deixa de ser verdadeiramente neste ponto *C* que eles se cruzam. Mas eles poderiam muito bem ser tão curvos, que isso os fizesse cruzar de novo em outro lugar. E, do mesmo modo, os raios que atravessam os dois vidros convexos *DBQ* e *dbq* cruzam-se sobre a superfície do primeiro vidro, depois se cruzam de novo sobre a do outro, pelo menos esses que vêm de lados diferentes; pois, para esses que vêm de um mesmo lado, é manifesto que não é senão no ponto ardente marcado *I* que eles se cruzam.



Podereis também notar, nesta oportunidade, que os raios do Sol, reunidos pelo vidro elíptico *ABC*, devem queimar com maior intensidade do que sendo reunidos pelo vidro hiperbólico *DEF*. Pois não se deve somente considerar os raios que vêm do centro do Sol, como *G*, *G*, mas também todos os outros que, vindos de outros pontos de sua superfície, não têm sensivelmente menos intensidade que os do centro, de modo que a violência do calor que eles podem causar deve ser medida pelo tamanho do corpo que os reúne, comparado com o tamanho do espaço onde ele os reúne. Por exemplo, se o diâmetro do vidro *ABC* é [193] quatro vezes maior que a distância que existe entre os pontos *M* e *L*, os raios reunidos por esse vidro devem ter dezesseis vezes mais intensidade do que se eles não passassem senão por um vidro plano, que não os desviasse de modo algum. E dado que a distância que existe entre esses pontos *M* e *L* é maior ou menor na razão daquela que existe entre eles e o vidro *ABC*, ou outro corpo tal que faça que os raios se reúnam, sem que o tamanho do diâmetro desses corpos possa adicionar nada, nem sua figura particular, que enviaram um quarto ou um terço de tudo o mais, é certo que essa linha radiante ao infinito, imaginada por alguns, não é senão uma quimera e que tendo dois vidros ou espelhos ardentes, dos quais um seja muito maior do que o outro, de qualquer modo que eles possam ser, sob a condição de que suas figuras sejam todas semelhantes, o maior deve bem reunir os raios do Sol em um maior espaço, e mais afastado de si do que o menor; mas que esses raios não devem ser mais intensos em cada parte desse espaço, do que no espaço onde o menor os reúne. De tal modo que podemos fazer vidros ou espelhos extremamente pequenos, que queimarão com tanta violência quanto os maiores. E um espelho ardente, cujo diâmetro não é maior do que cerca da centésima parte da distância que existe entre ele e o lugar onde ele deve reunir os raios do Sol, isto é, que tem a mesma proporção com essa distância, que o diâmetro do Sol tem com a distância que está entre ele e nós, fosse ele polido por um anjo, não poderia fazer que os raios que ele reúne aqueçam mais no lugar onde eles os reúne, que aqueles que vêm diretamente do [194] Sol; o que se deve proporcionalmente entender também para os vidros ardentes. Donde podeis ver que aqueles que não são senão meio sábios na óptica, deixam-se persuadir por muitas coisas que são impossíveis, e que esses espelhos com os quais se disse que Arquimedes incendiou navios de bem longe deveriam ser extremamente grandes, ou melhor, que eles eram fabulosos.

A quarta diferença, que deve ser notada entre os vidros dos quais tratamos aqui, pertence particularmente àqueles que mudam a disposição dos raios que vêm de qualquer ponto bastante próximo deles, e consiste em que alguns, a saber, aqueles cuja superfície que olha para esse ponto é a mais côncava, em razão de seu tamanho, podem receber maior quantidade desses raios do que os demais, ainda que seu diâmetro não seja maior. E nisso o vidro elíptico *NOP*, que suponho tão grande que suas extremidades *N* e *P* são os pontos nos quais termina o menor diâmetro da elipse, ultrapassa o vidro hiperbólico [195] *QRS*, ainda que a suponhamos tão grande quanto quisermos; e



ele não pode ser ultrapassado pelos de qualquer outra figura. Enfim, esses vidros diferem ainda em que, para produzir os mesmos efeitos, em relação aos raios que se dirigem a um só ponto ou a um só lado, uns devem ser em número maior que os outros, ou devem fazer que os raios que se dirigem a pontos diferentes, ou a lados diferentes, cruzem-se muitas vezes. Como pudestes ver que para fazer, com os vidros elípticos, que os raios que vêm de um ponto reúnam-se em outro ponto, ou afastem-se como se viessem de outro ponto, ou que aqueles que tendem para um ponto afastem-se de novo, como se eles viessem de um outro ponto, é sempre necessário o emprego de dois [vidros], ao passo que se deve usar apenas um, se nos servimos dos hiperbólicos. E podemos fazer que os raios paralelos, permanecendo paralelos, ocupem um espaço menor que antes, tanto por meio de dois vidros hiperbólicos convexos, que fazem que os raios que vêm de diversos lados se cruzem duas vezes, do que por intermédio de um convexo e de um côncavo, que fazem que eles não se cruzem senão uma vez. Mas é evidente que jamais devemos empregar vários vidros para aquilo que pode ser tão bem feito com o auxílio de um só, nem fazer que os raios se cruzem várias vezes, quando uma só basta.

E, geralmente, deve-se concluir de tudo isso que os vidros hiperbólicos e os elípticos são preferíveis a todos os outros que possam ser imaginados, mesmo que os hiperbólicos sejam em quase tudo preferíveis aos elípticos. Em seguida, direi **[196]** agora de que maneira me parece que devemos compor cada espécie de luneta, para torná-las as mais perfeitas possíveis.

Traduzido do original em francês por José Portugal dos Santos Ramos

Revisão técnica de Pablo Rubén Mariconda