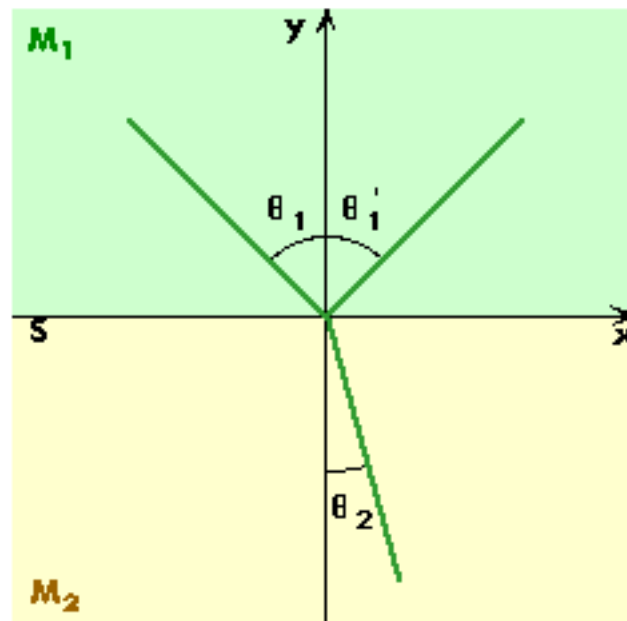


## Reflexão

Quando estudámos o fenómeno de refacção analisámos a seguinte situação: uma onda plana propaga-se num meio  $M_1$  com uma velocidade  $\vec{v}_1$ . O meio  $M_1$  está separado de outro meio  $M_2$  por uma superfície plana  $S$ .

Quando a onda plana atinge a superfície, entra no meio  $M_2$  e a sua velocidade de propagação passa a ser  $\vec{v}_2$ . No entanto, nem toda a energia é transmitida para o segundo meio. Na realidade parte da energia é *reflectida* também sob a forma de uma onda com igual comprimento de onda da onda incidente. Quando a superfície plana  $S$  é polida, é possível prever a direcção de propagação da onda reflectida:



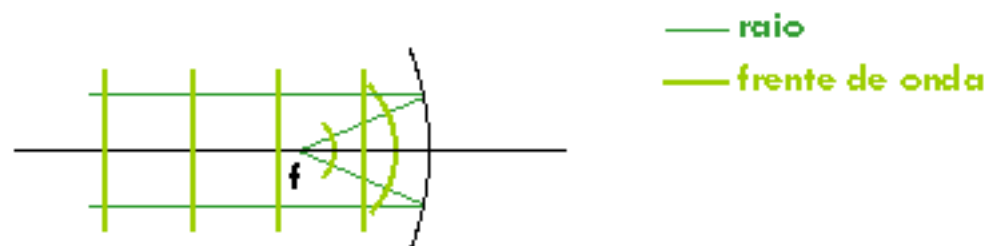
Nesse caso, o ângulo de reflexão ( $\theta_1'$ ) é igual ao ângulo de incidência ( $\theta_1$ ). Agora temos a figura completa.

Se a superfície plana não é polida a direcção de propagação da onda reflectida é imprevisível e diz-se que a reflexão é difusa.

### **Espelhos esféricos**

Com a reflexão de uma onda podemos alterar a forma das suas frentes de onda. Uma onda plana pode tornar-se por exemplo numa onda esférica. Basta utilizar um espelho esférico. Um espelho é uma superfície polida com uma fracção de energia reflectida elevada ( $r \approx 1$ ).

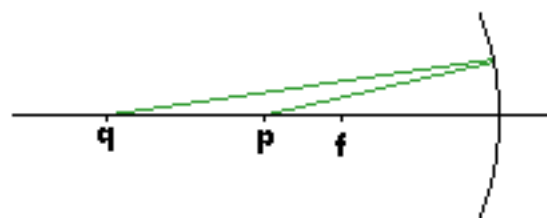
Com um espelho côncavo o efeito sobre uma onda plana é:



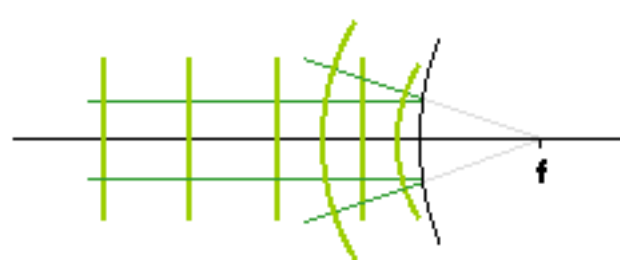
Se temos uma fonte de ondas planas, depois de reflectir no espelho côncavo a onda converge para um ponto. Este ponto chama-se o *foco* do espelho. A distância do espelho ao foco é a distância focal ( $f$ ).

Uma fonte pontual a uma distância  $p$ , depois de reflectir no espelho converge para uma ponto a uma distância  $q$  do espelho.  $q$  é dado por:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$



Se o espelho é convexo o seu efeito sobre uma onda plana é:

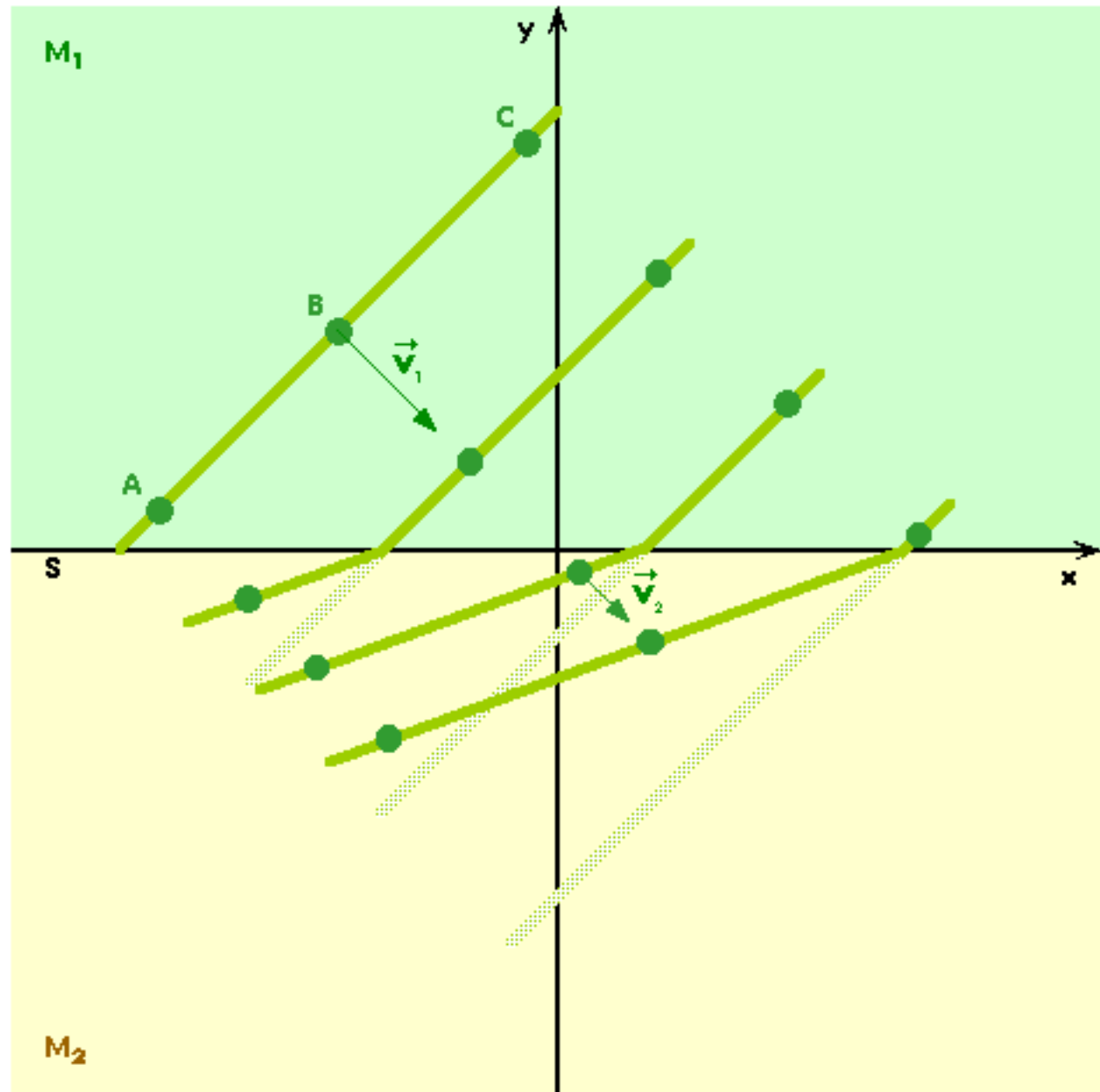


## Refração

Uma onda plana propaga-se num meio  $M_1$  com uma velocidade  $\vec{v}_1$ . O meio  $M_1$  está separado de outro meio  $M_2$  por uma superfície plana  $S$ .

Quando a onda plana atinge a superfície, entra no meio  $M_2$  e a sua velocidade de propagação passa a ser  $\vec{v}_2$ .

O que é que se altera na velocidade de propagação? Vejamos a seguinte figura:

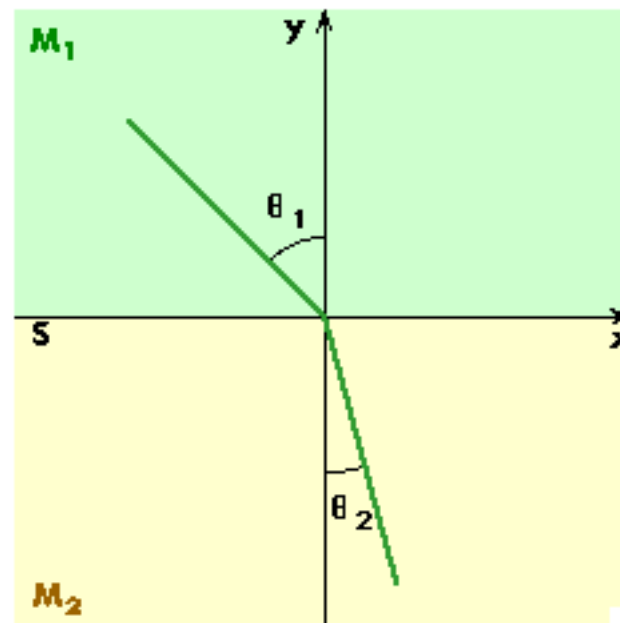


Estão representados vários pontos da frente de onda em intervalos de tempo iguais e sucessivos. O ponto A é o primeiro a entrar no meio  $M_2$ . Isso faz com que se desloque a uma velocidade inferior à dos outros pontos durante o tempo que os mesmos demoram a atingir S. O efeito resultante é a alteração da direcção de propagação da frente de onda.

Chamamos *índice de refacção* ( $n_{1,2}$ ) à razão entre as normas das velocidades  $v_1$  e  $v_2$ .

O desvio sofrido pela onda plana depende das velocidades  $v_1$  e  $v_2$ , logo depende do índice de refacção.

A lei que descreve esta dependência é a *Lei de Snell*. Se  $\theta_1$  é o ângulo entre a direcção de propagação da onda no meio  $M_1$  e a normal à superfície S (ângulo de incidência) e  $\theta_2$  é o ângulo entre a direcção de propagação da onda no meio  $M_2$  e a normal à superfície S (ângulo de refacção):



A Lei de Snell diz que:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta_1 = n_{1,2} \sin \theta_2$$

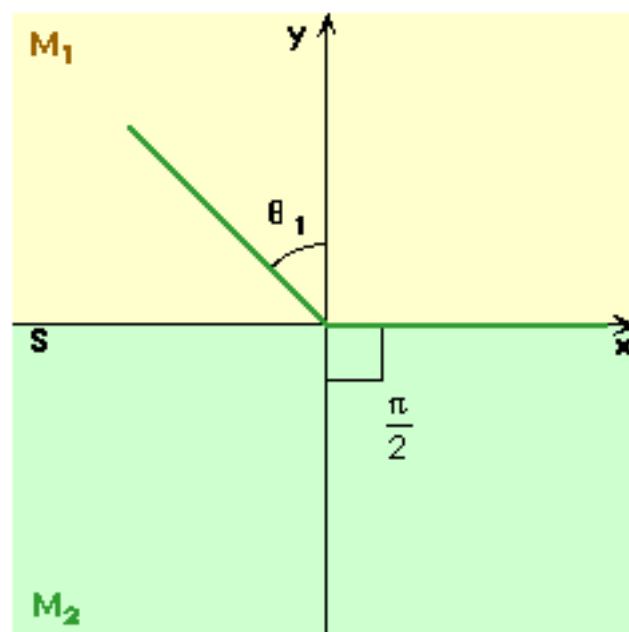
Quando o índice de refração é maior que 1 (velocidade menor no segundo meio), a onda é desviada para a normal à superfície.

Se o índice de refração é menor que 1 (velocidade maior no segundo meio), a onda é afastada da normal à superfície. De facto, existe um ângulo de incidência para o qual o ângulo de refração é igual a  $90^\circ$ :

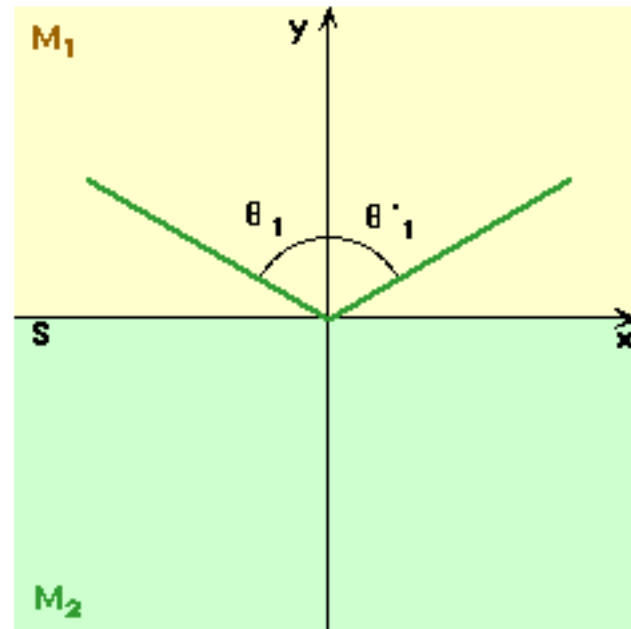
$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \theta_1}{n_{1,2}}\right) = \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sin \theta_1}{n_{1,2}} = 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \theta_1 = \arcsin(n_{1,2})$$



Se o ângulo de incidência for superior a este valor, temos o fenómeno de *reflexão total*.



Este fenómeno é utilizado por exemplo nas fibras ópticas. A onda electromagnética é continuamente reflectida de forma que a energia mantém-se confinada à fibra óptica.

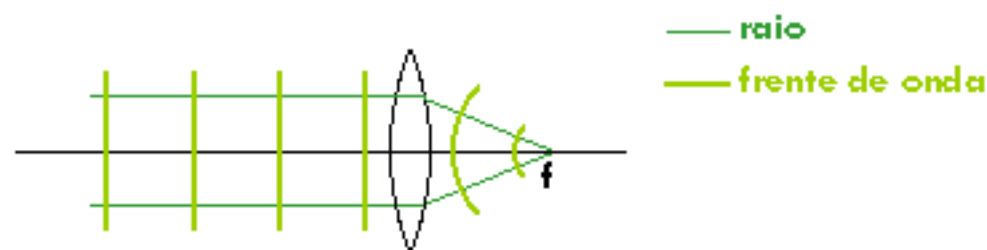
Nem sempre temos uma transição descontínua de índice de refração. Esta transição pode ser gradual. Isso implica que o desvio sofrido pela onda pode ser contínuo e depende unicamente da variação espacial do índice de refração.

Quando olhamos paralelamente a uma estrada num dia de sol intenso vemos uma deformação sinuosa da imagem que observamos. O índice de refração do ar depende da temperatura. A camada de ar junto da superfície de asfalto aquece e por isso sofre uma impulsão. As correntes de ar ascendentes alteram continuamente o índice de refração. Daí a deformação observada.



Com a refração de uma onda podemos alterar a forma das suas frentes de onda. Uma onda plana pode tornar-se por exemplo numa onda esférica. Basta utilizar uma lente esférica. As duas superfícies de transição de uma destas lentes são esféricas e permitem-nos alterar a convergência de uma onda.

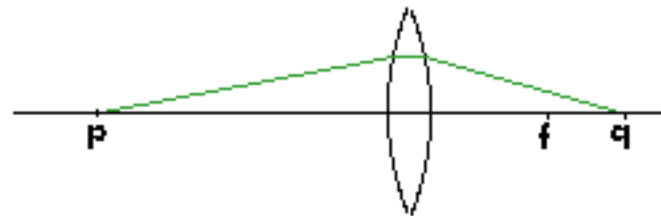
Se ambas as superfícies são convexas a lente diz-se *convergente*. Consideremos que a propagação de uma onda pode ser descrita por linhas perpendiculares às frentes de onda. Estas linhas chamam-se *raios* e podem ser utilizadas como forma de descrever a alteração de convergência introduzida por uma lente convergente:



Se temos uma fonte de ondas planas, depois da lente convergente a onda converge para um ponto. Este ponto chama-se o *foco* da lente. A distância da lente ao foco é a distância focal ( $f$ ).

Uma fonte pontual a uma distância  $p$ , depois da lente converge para um ponto a uma distância  $q$  da lente. Se a lente for delgada (com espessura muito menor que  $p$  ou  $q$ ),  $q$  é dado por:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$



Se ambas as superfícies são côncavas então a lente diz-se *divergente*.

