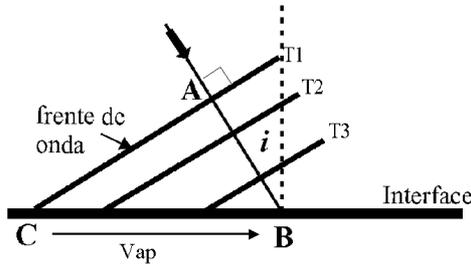


**Lei de Snell - Reflexão e Refração**

Quando uma frente de onda atinge uma interface separando dois meios diferentes, cada ponto da interface atingido pela onda vai oscilar gerando novas ondas (princípio de Huygens).



Podemos considerar a interface como uma **fonte móvel** de novas ondas. A "velocidade" desta "fonte" é a velocidade aparente,  $V_{ap}$ .

Chamando a velocidade de propagação da onda de  $\alpha$ , teremos

$$\Delta t = \text{tempo para a onda se propagar de A a B} = AB/\alpha.$$

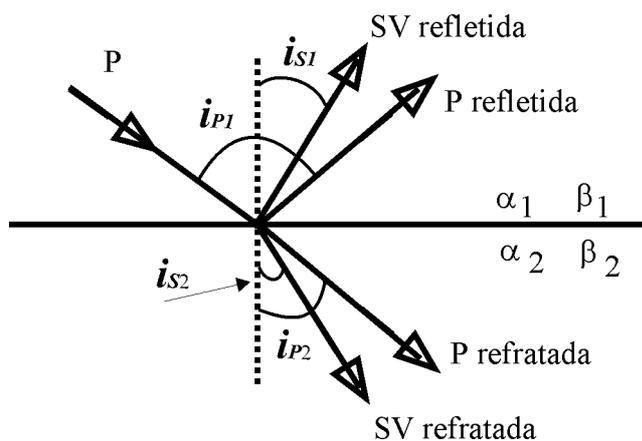
$\Delta t =$  mesmo tempo em que a frente de onda "varre" a interface de C a B.

$$\Delta t = \frac{CB}{V_{ap}} = \frac{AB}{\alpha} \quad \text{portanto} \quad V_{ap} = \alpha / \text{sen } i$$

Por convenção, o ângulo de **incidência**  $i$ , é medido a partir da normal à interface. (O ângulo entre o raio sísmico e a interface chama-se ângulo de emergência).  $V_{ap}$  é a velocidade aparente, i.e., a "velocidade" com que a frente de onda varre a interface.

Cada partícula da interface vai oscilar e gerar ondículas, tanto P como S, em todas as direções. A superposição de todas as ondículas geradas por todas as partículas vai constituir novas ondas (P e S) com frentes de onda planas. Todas estas ondas terão a mesma velocidade aparente, pelo próprio mecanismo de geração.

Chamando as velocidades da onda P em dois meios diferentes de  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , e as velocidades da onda S de  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , os ângulos de "incidência",  $i$ , de cada nova onda será dada por a lei de Snell é dada por:

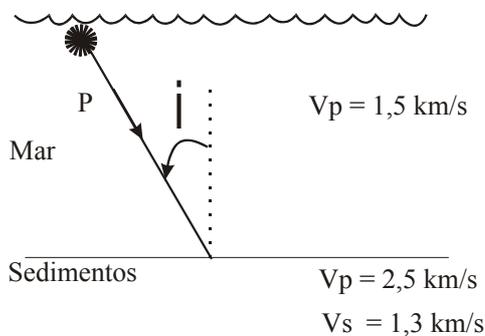


$$V_{ap} = \frac{\alpha_1}{\text{sen } i_{p1}} = \frac{\alpha_2}{\text{sen } i_{p2}} = \frac{\beta_1}{\text{sen } i_{s1}} = \frac{\beta_2}{\text{sen } i_{s2}}$$

que é a **Lei de Snell**.

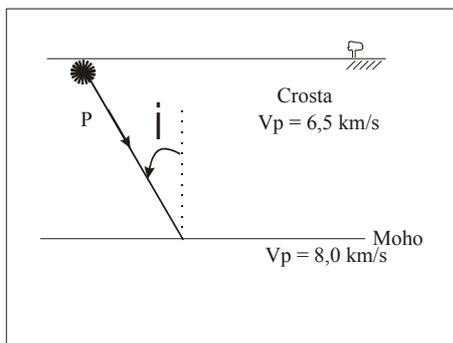
**Exercícios da Lista 6 (Lei de Snell)**

1) Uma onda P de uma explosão no mar incide nos sedimentos do fundo marinho com um ângulo de  $30^\circ$  com a vertical,  $i$ , (ângulo de incidência).



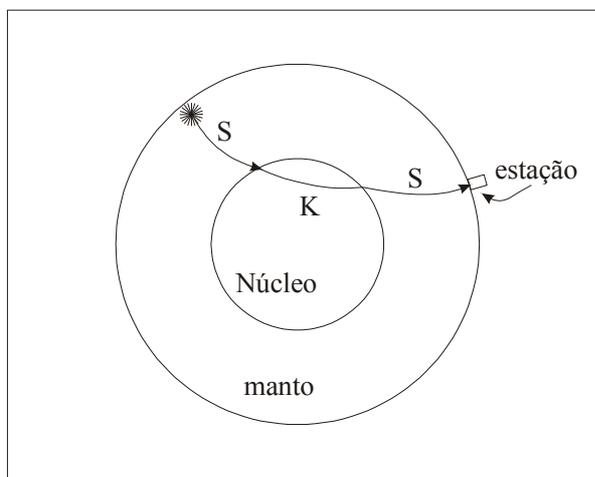
Determine as direções de todas as ondas refletidas e refratadas. Qual o tipo de onda S refratada (SV ou SH)? Faça o mesmo para o ângulo  $i = 45^\circ$ .

2) Idem para o caso da interface crosta/manto, com ângulo de incidência  $i = 30^\circ$ . Suponha que a relação  $V_P/V_S = 1,73$  para a crosta e para o manto superior.



3) Na crosta do problema anterior, qual o limite do ângulo de incidência para que exista a onda P refratada abaixo da Moho? E o limite para transmissão de onda S abaixo da Moho?

4) A onda SKS propaga-se como onda S no manto da Terra, é transmitida no núcleo líquido como onda P, e se transforma novamente em S no manto. O percurso na parte líquida do núcleo é denominado "K".

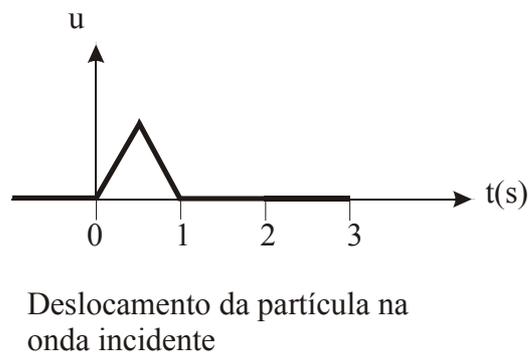
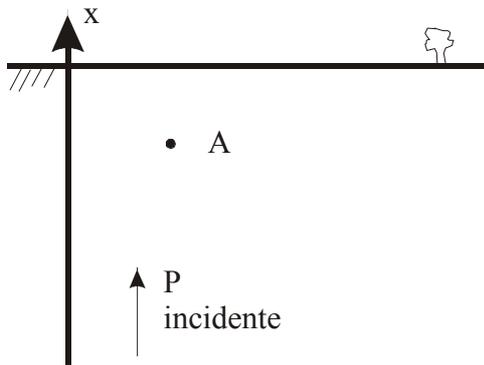


Qual a polarização da onda SKS ao atingir a estação? Isto é, chegará como onda SV, SH ou mista?

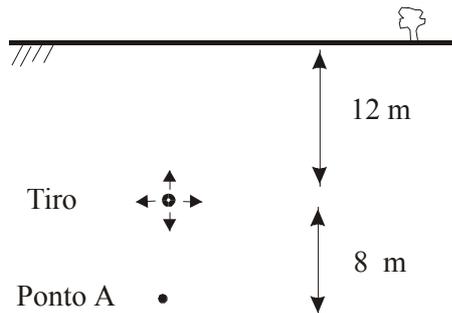
Há dependência da polarização de saída do foco do terremoto?

5) Um pulso triangular de onda P, de duração 1s, incide verticalmente na superfície numa região de velocidade  $V_p = 2$  km/s. A onda incidente fará a partícula A se deslocar para cima conforme o "sismograma" no lado direito. Use o princípio de Huygens para deduzir como seria o movimento das partículas na onda refletida pela superfície. Isto é, o movimento para cima das partículas da superfície devido à onda incidente também é, ao mesmo tempo(!), a fonte da onda refletida. Adotando o sentido positivo para cima, faça um gráfico do deslocamento da partícula A (i.e., complete o "sismograma") para os casos em que a o ponto A esteja a uma profundidade de

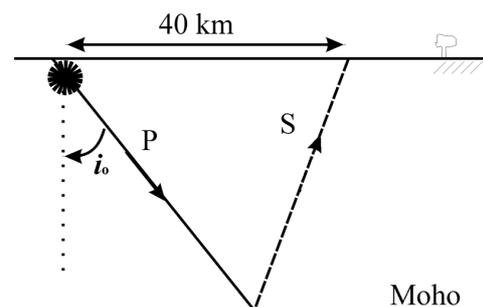
- a) 3 km      b) 2 km      c) 1 km      d) 0 km



6) Suponha que uma detonação de dinamite provoque um pulso de onda P triangular de duração 10 ms, com movimentação da partícula para frente. Faça um gráfico do movimento de partícula no ponto A a 20 m de profundidade, 8 m abaixo de um tiro efetuado a 12 m da superfície, em rochas onde  $V_p = 2000$  m/s. Adote o sentido positivo para baixo no seu "sismograma".



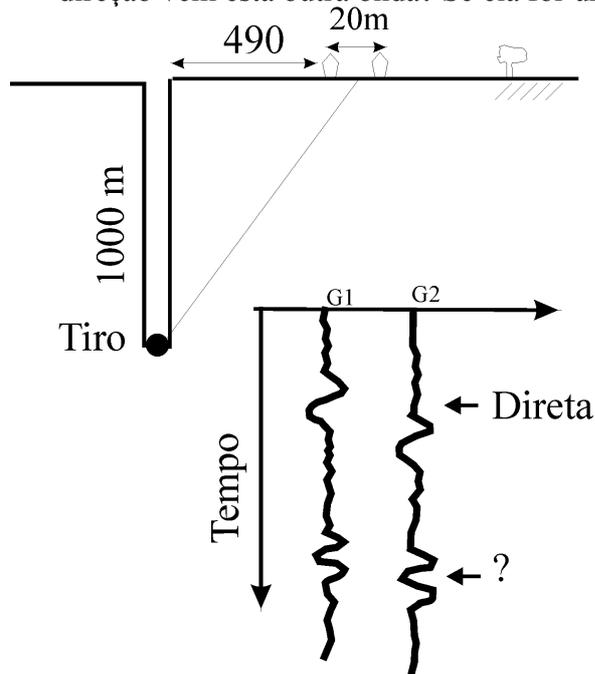
7) Numa região de crosta com 30 km de espessura, registra-se uma onda  $P_mS$  (P convertida em S ao refletir na base da crosta) a 40 km de distância.



Qual o ângulo de saída  $i_o$  da onda P?  
A que distância será registrada a onda  $P_mP$  correspondente?

8) Numa perfilagem VSP (Vertical Seismic Profiling) um tiro é feito a 1000 m de profundidade. Dois geofones estão a 490 e 510 m da boca do furo. A velocidade de propagação da onda P é 2,0 km/s e  $V_p/V_s = 1,8$ .

- Qual a  $V_{ap}$  da onda P direta, entre os dois geofones?
- A onda P incidente na superfície vai gerar ondas P e S refletidas. Quais os ângulos das reflexões?
- Os dois geofones registram uma outra onda com velocidade aparente de 8 km/s. De que direção vem esta outra onda? Se ela for uma reflexão, qual a profundidade da interface?



9) Numa Terra de 6000 km de raio com um núcleo de 3000 km, a velocidade da onda P é de 12,0 km/s no manto e 9 km/s no núcleo. Uma onda P incide no núcleo tangencialmente. Parte da energia desta onda irá se refratar para dentro do núcleo líquido como onda P também (trecho chamado de "K") e que incidirá na interface núcleo/manto em outro ponto gerando outra onda P transmitida de volta para o manto. Calcule o ponto na superfície onde a onda PKP irá emergir. Qual a distância angular total do percurso? Qual a velocidade aparente da onda PKP na estação?

