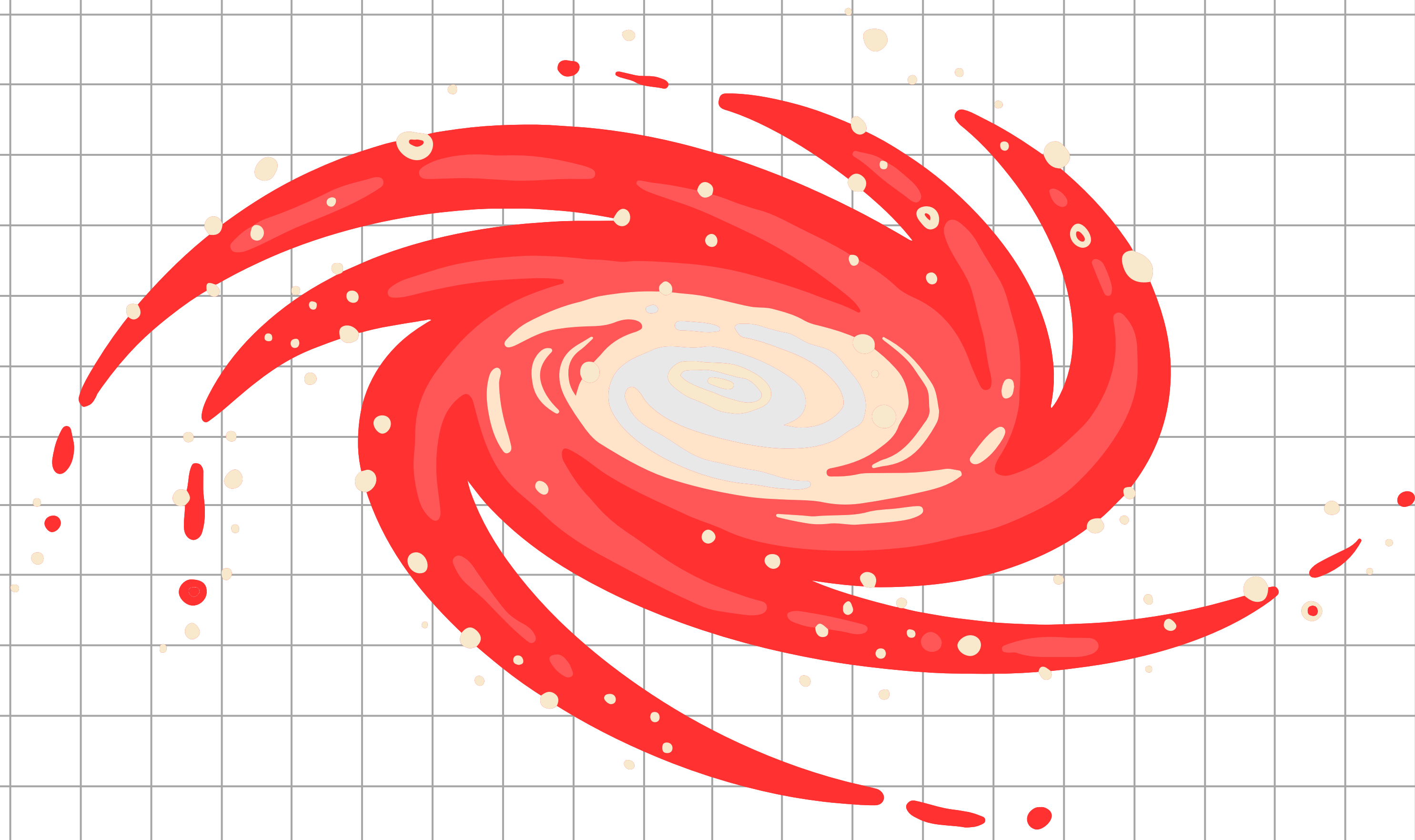
MARIA CLARA

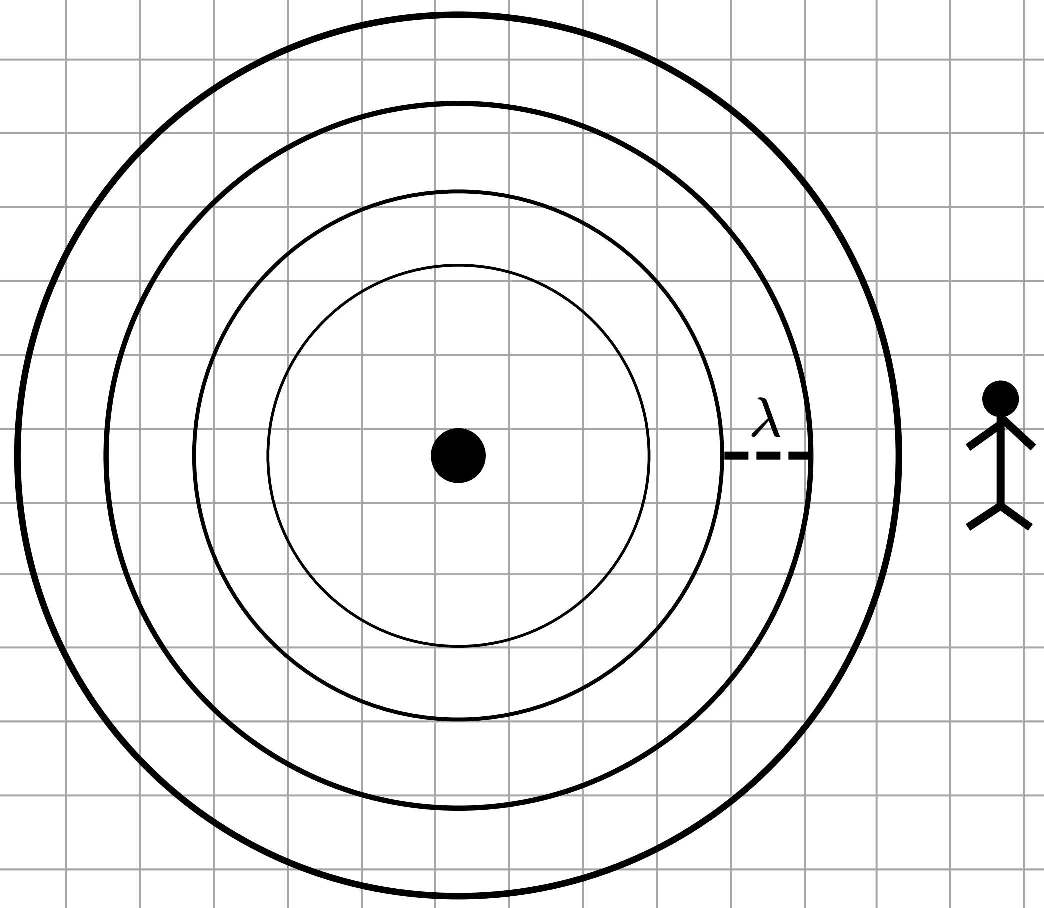
EFEITO DOPPLER E REDSHIFT



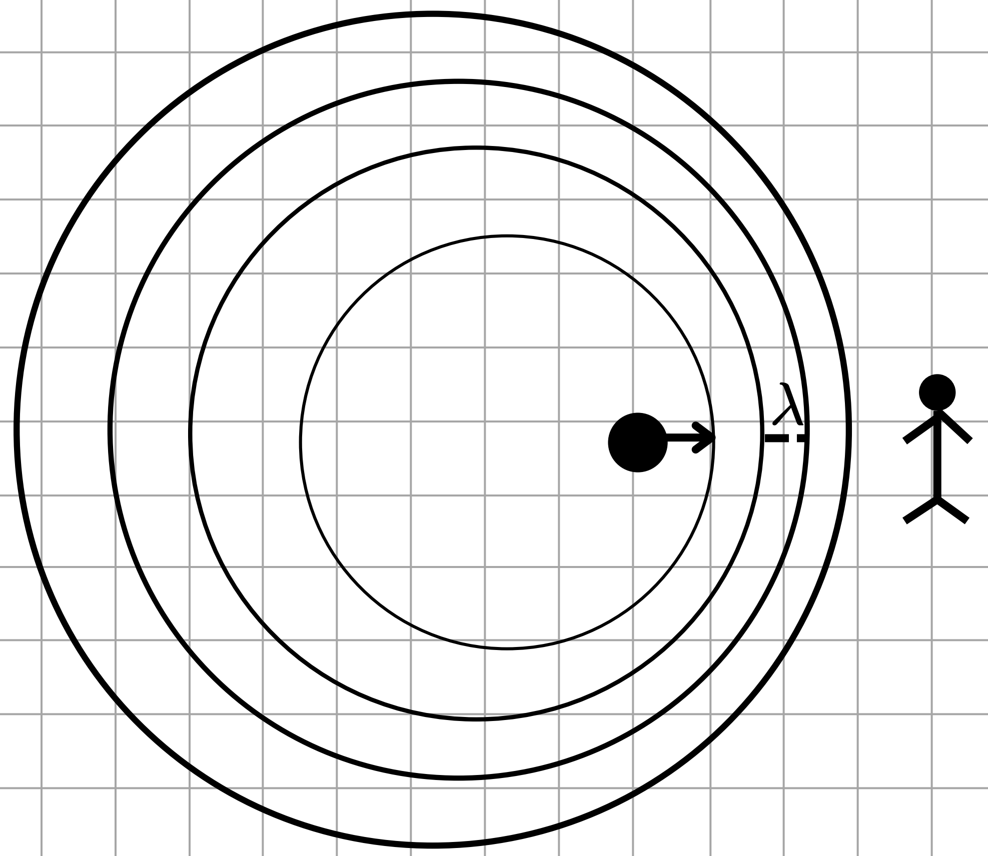
a) efeito doppler

é a mudança da frequência vinda de uma fonte devido ao movimento relativo entre a fonte e o observador

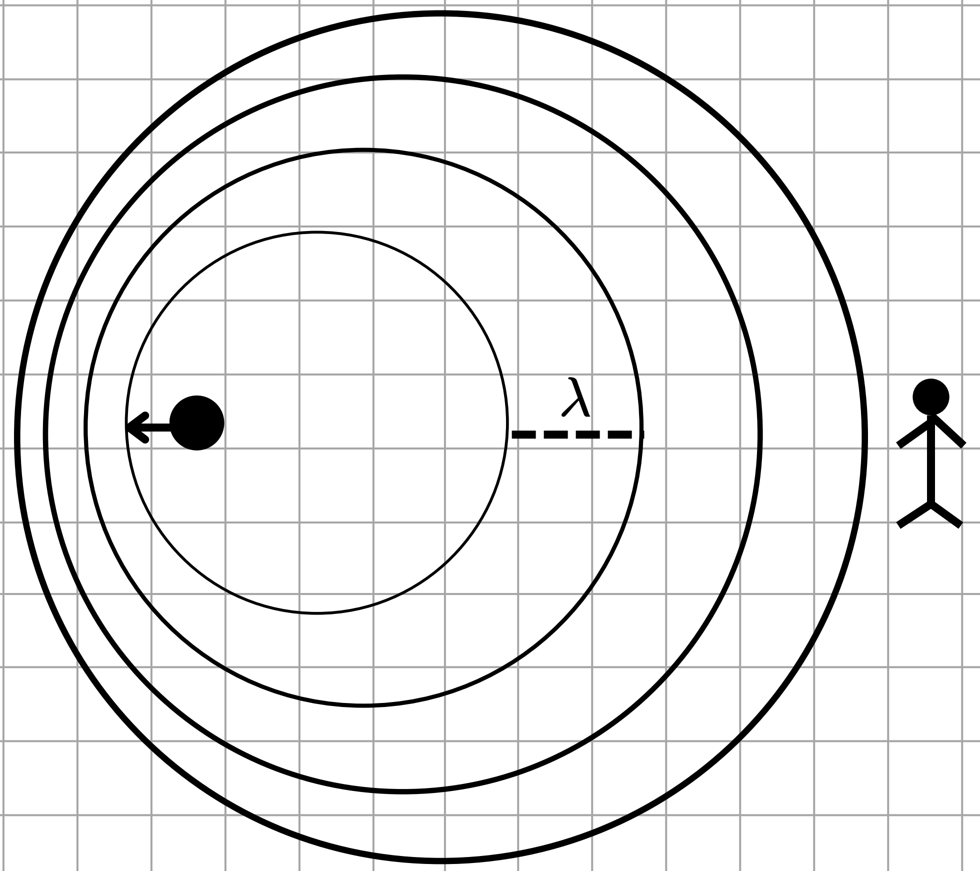
$$\Delta t_1 < \Delta t_o < \Delta t_2$$



ambos em repouso
Δt



fonte se aproximando
Δt_1

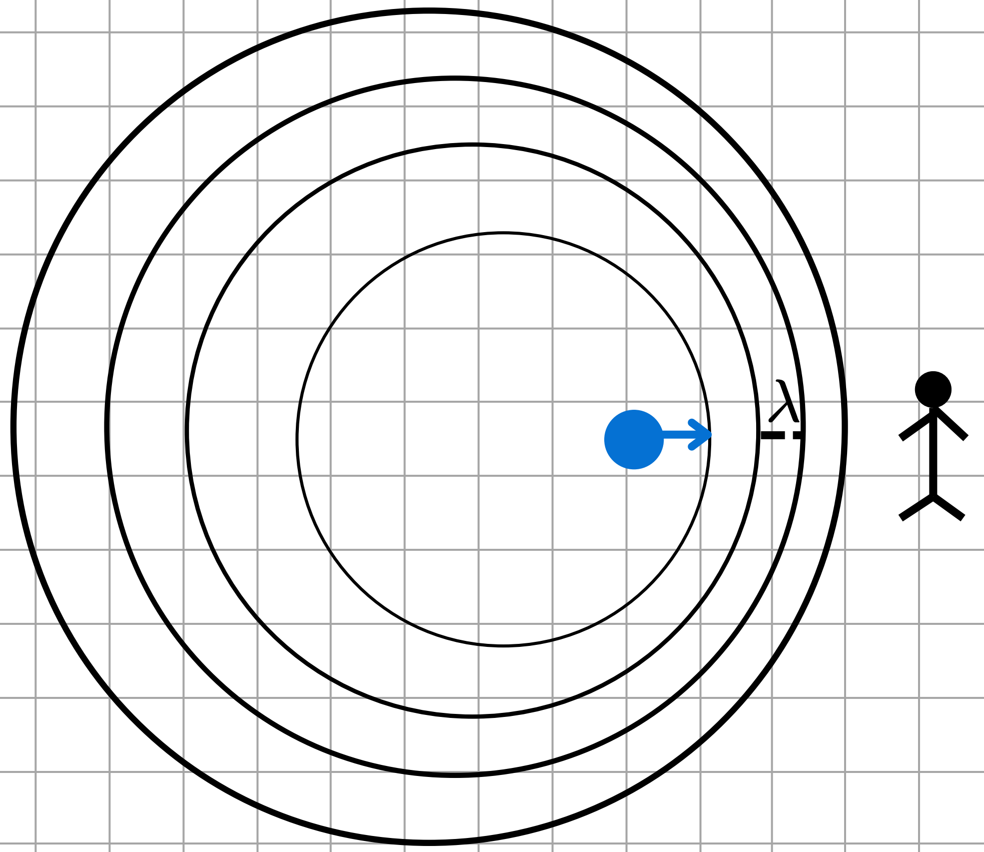


fonte se afastando
Δt_2

$$f = \frac{1}{\Delta t} \rightarrow \quad f_2 < f_o < f_1$$

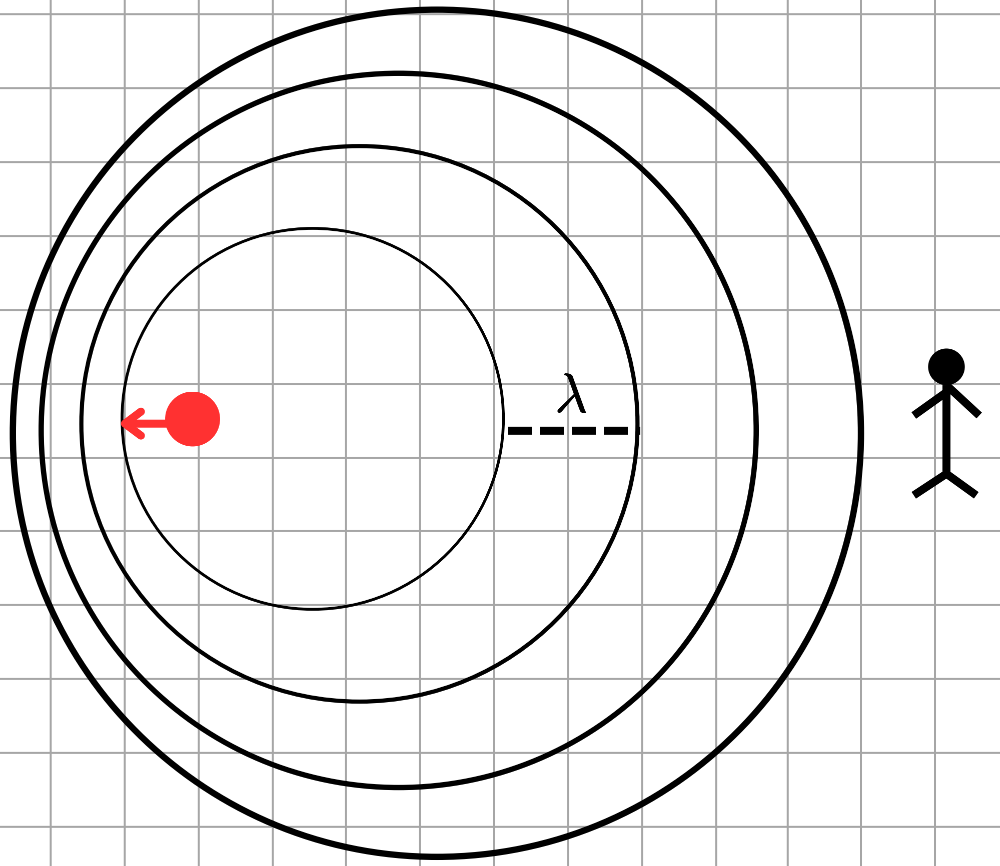
b) redshift não-relativístico

$$c = \lambda f$$



blueshift

com a fonte se aproximando, há um aumento na frequência, logo um deslocamento para um menor comprimento de onda (azul)



redshift

com a fonte se afastando, há uma diminuição na frequência, logo um deslocamento para um maior comprimento de onda (vermelho)

c) quantização do redshift

por definição, redshift (z) pode ser calculado pela razão entre a variação do comprimento de onda observado e o comprimento de onda em laboratório

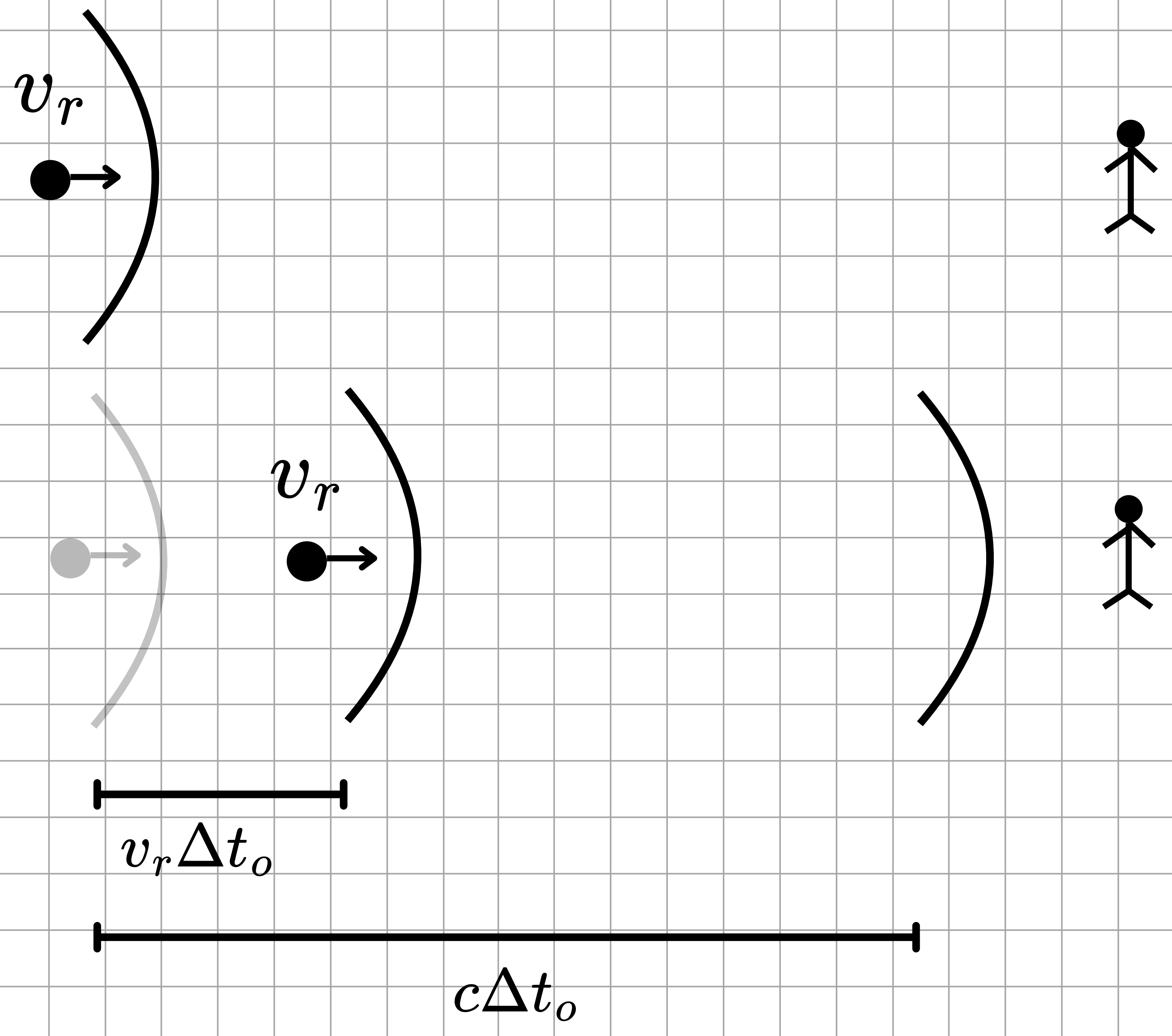
$$\boxed{z = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o}}$$

- $\lambda > \lambda_o \rightarrow z > 0$ (redshift)
- $\lambda < \lambda_o \rightarrow z < 0$ (blueshift)

perceba que o blueshift pode ser entendido como um redshift negativo!

d) redshift em função da velocidade radial

$$\boxed{z = \frac{v_r}{c}}$$



$$\lambda = c\Delta t_o - v_r\Delta t_o = (c - v_r)\Delta t_o$$

$$\lambda_o = c\Delta t_o$$

$$z < 0$$

$$-z = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{(c - v_r)\Delta t_o - c\Delta t_o}{\Delta t_o}$$

$$-z = \frac{(c - v_r)}{c} - 1 \rightarrow \quad z = \frac{v_r}{c}$$

e) redshift relativístico

ao lidar com redshift, nota-se que trabalhamos com a velocidade da luz, portanto devemos considerar os efeitos da relatividade restrita!

na relatividade, o intervalo de tempo entre a emissão de duas frentes de onda consecutivas depende do referencial. isso é um efeito direto da dilatação temporal, onde em altas velocidades o tempo passa mais devagar.

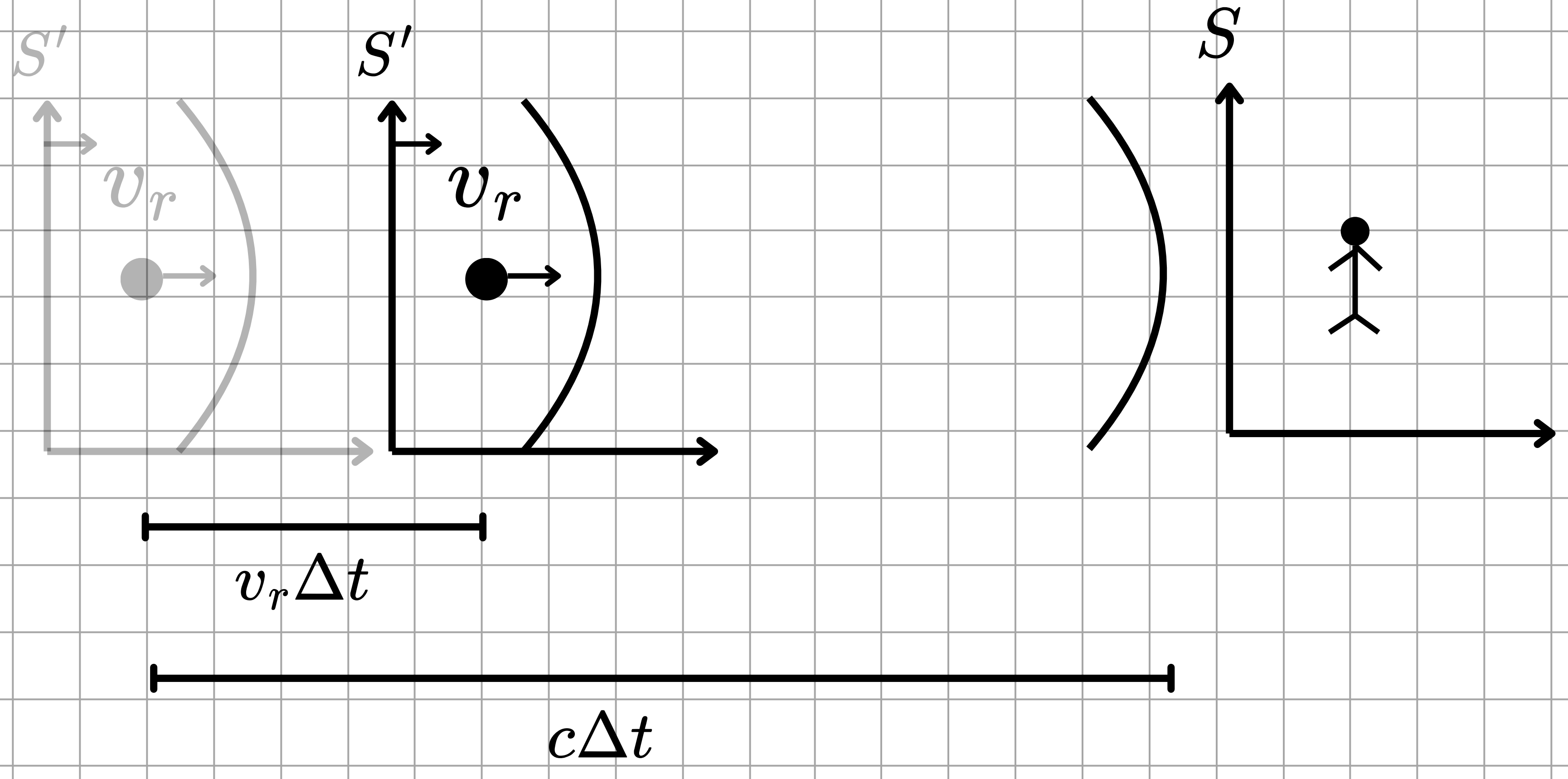
para $z < 0{,}1$ é cabível desprezar os efeitos relativísticos

- transformação de lorentz

$$\Delta t = \gamma \Delta t'$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt[2]{1-\beta^2}}$$

f) redshift relativístico



$\Delta t' \rightarrow$ intervalo de tempo medido em S'

$\Delta t \rightarrow$ intervalo de tempo medido em S

$$f_e = \frac{1}{\Delta t'} = \frac{1}{\Delta t_o}$$

$$\lambda = (c - v_r)\Delta t$$

$$f_r = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{c - v_r}\frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{c - v_r}{c}}\frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{1 - \frac{v_r}{c}}\frac{1}{\Delta t}$$

$$\frac{v_r}{c} = \beta \rightarrow f_r = \frac{1}{1-\beta}\frac{1}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \gamma \Delta t' = \gamma \Delta t_o$$

$$f_r = \frac{1}{\gamma}\frac{1}{1-\beta}\frac{1}{\Delta t_o} = \frac{f_e}{\gamma(1-\beta)}$$

$$f_r = f_e \frac{\sqrt[2]{1-\beta^2}}{1-\beta} \rightarrow \boxed{f_r = f_e \sqrt[2]{\frac{1 + \frac{v_r}{c}}{1 - \frac{v_r}{c}}}}$$

f.1) em função de z

$z < 0 \rightarrow v_r < 0$

$$f_r = f_e \sqrt[2]{\frac{1-\frac{v_r}{c}}{1+\frac{v_r}{c}}} \rightarrow \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_o}\sqrt[2]{\frac{c-v_r}{c+v_r}} \rightarrow \lambda = \lambda_o \sqrt[2]{\frac{c+v_r}{c-v_r}}$$

$$z = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{\lambda}{\lambda_o} - 1 \qquad (z+1)\lambda_o = \lambda_o \sqrt[2]{\frac{c+v_r}{c-v_r}} \rightarrow \boxed{z = \sqrt[2]{\frac{c+v_r}{c-v_r}} - 1}$$

f.1) em função da velocidade radial

$$z = \sqrt[2]{\frac{c+v_r}{c-v_r}} - 1 \quad \longrightarrow \quad (z+1)^2 = \frac{c+v_r}{c-v_r} \qquad (z+1)^2 = m$$

$$m\,(c - v_r) = c + v_r \quad \longrightarrow \quad mc - mv_r = c + v_r \quad \longrightarrow \quad mc - c = mv_r + v_r$$

$$c\,(m-1) = v_r\,(m+1) \quad \longrightarrow \quad \boxed{v_r = \frac{c(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}}$$

(p3 2018) 8. Para um observador na Terra, o comprimento de onda da linha H□ no espectro da uma estrela é de 486,112 nm. Medidas feitas em laboratório demonstram que o comprimento de onda normal desta linha espectral é de 486,133 nm. Considerando que a velocidade da luz no vácuo é 300.000 km/s, pode-se afirmar que esta estrela:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{486,112 - 486,133}{486,133} \approx -4,32.10^5$$

$$v_r = zc = -4,32.10^5.3.10^5 = -12,96\frac{km}{h}$$

- z < 0, logo a estrela está se aproximando

- a estrela possui velocidade radial de módulo igual a 12,96 km/h

logo, a estrela está se aproximando a uma velocidade radial de 12,96 km/h