

As equações de Friedmann

- A equação de Einstein é $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$, e isso nos leva às seguintes duas equações:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho$$
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right)$$

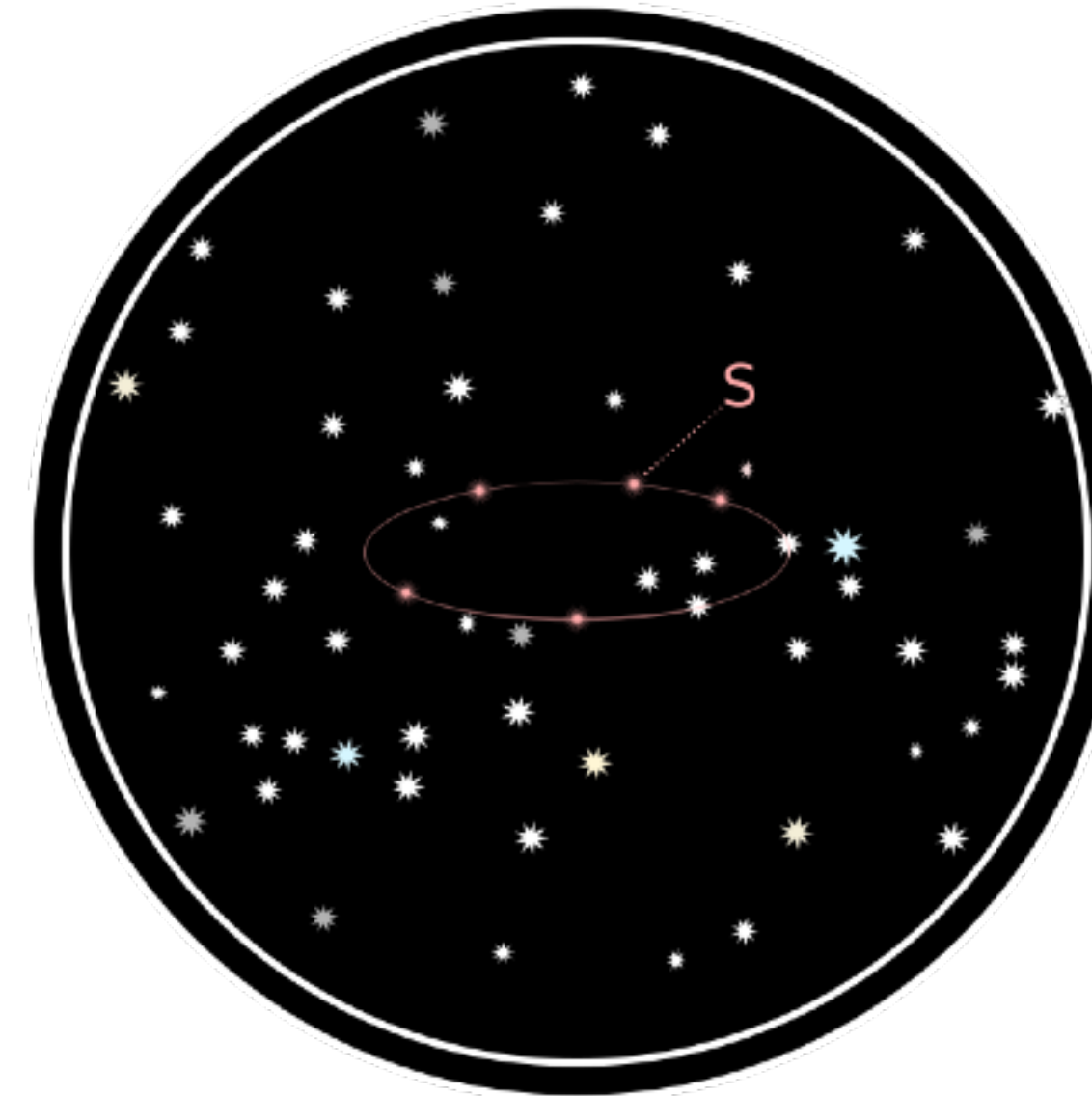
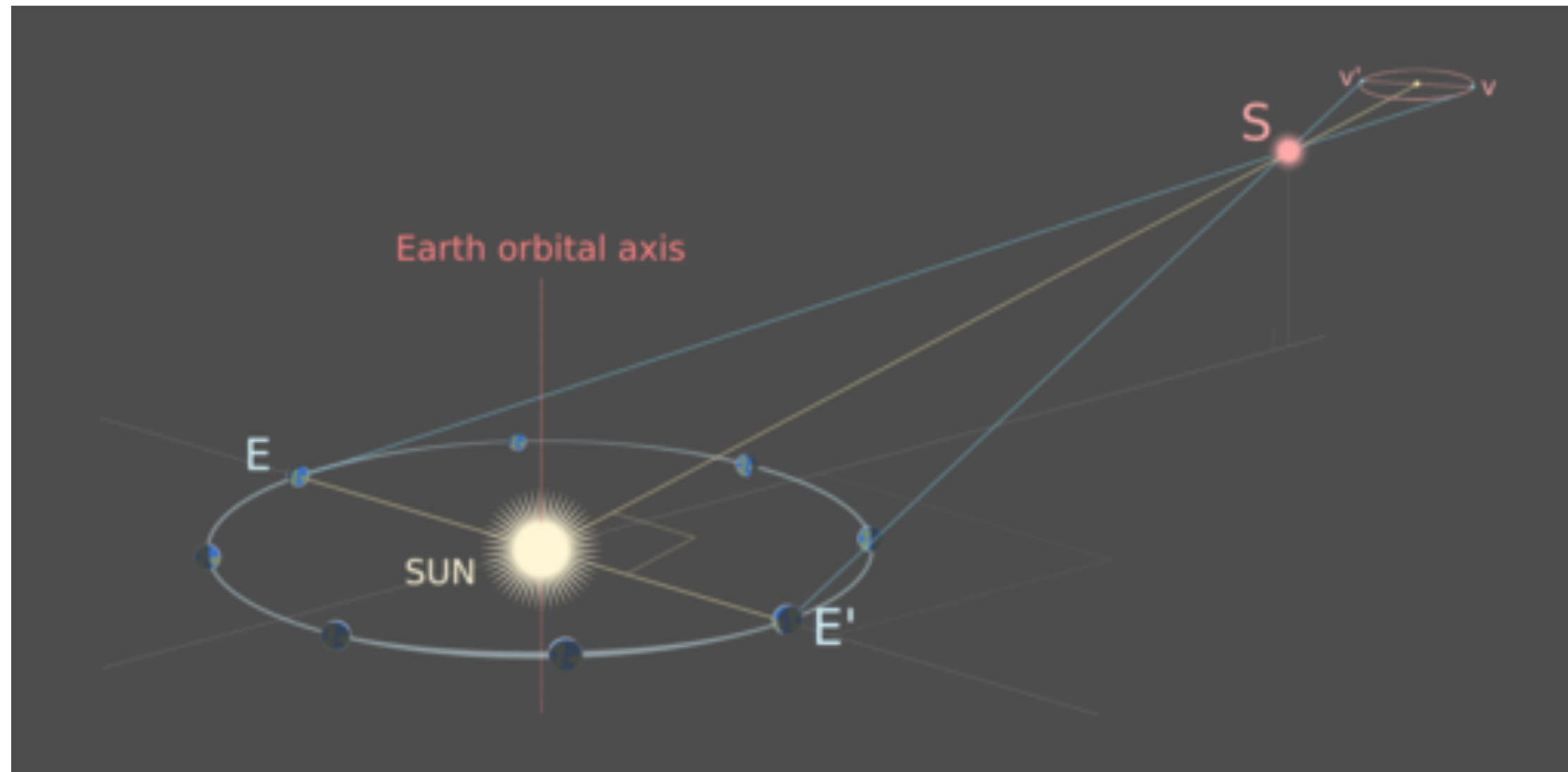
Essas duas equações são EDO's e chamadas de equações de Friedmann.

Uma é uma equação diferencial para a velocidade de expansão \dot{a} , a outra para a aceleração da expansão \ddot{a} . É uma combinação exótica para a mecânica: \dot{a} não está livre.

O fator $\frac{\dot{a}}{a} \equiv H$ é chamado de **parâmetro de Hubble**.

Como medir a expansão do universo?

- Primeiro é necessário saber como medir distâncias muito além do sistema solar.
- A forma mais robusta, porém de "curto alcance", é via paralax:



- Estrelas próximas têm movimento aparente devido a rotação da Terra em torno do Sol. Necessário precisão no mínimo da ordem de 1 segundo de arco. (Definição do parsec = pc).
- O telescópio Hubble atinge ~20 microsegundos de arco, o suficiente para medir distâncias de até uns 10 mil anos luz ~ 3 kpc. Mas isso é pouco, o centro da nossa galáxia está a ~8 kpc.