

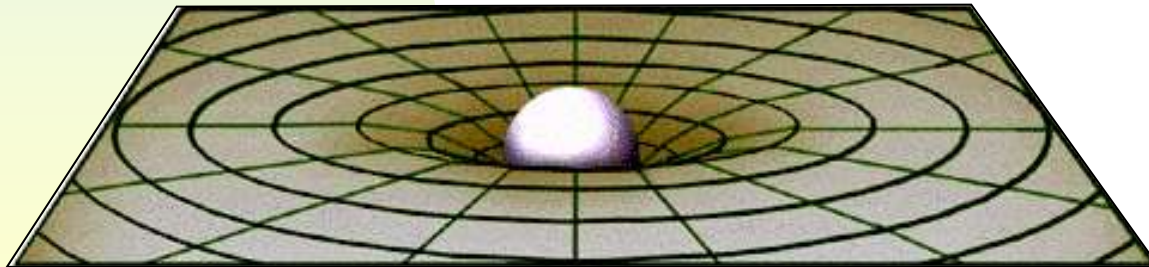
# Pokřivený svět

---

# Pokřivený svět

1916: vznik OTR

- zakřivení prostoru
- zakřivení času
- zakřivení časoprostoru



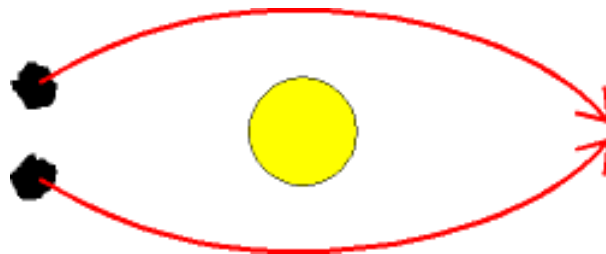
# o obecné relativitě

Tělesa pohybující se pod vlivem gravitačních polí se díky ekvivalenci setrvačné a gravitační hmotnosti pohybují po stejných trajektoriích.

Nebylo by tedy možné chápat křivost trajektorií jako vlastností samotného prostoru a času?

Dva kameny na obrázku se podle newtonovské teorie potkají proto, že Slunce na ně působí gravitační silou, která zakřivuje jejich dráhu v prostoru. Podle obecné relativity se oba kameny pohybují po "přímkách", ale v křivém čase a prostoru. Zakřivení času a prostoru samozřejmě způsobuje Slunce.

Zakřivení prostoru kolem Slunce je takové, že poloměr Slunce měřený přímo a z plochy ( $S = 4\pi r^2$ ) se liší o 0,5 km.



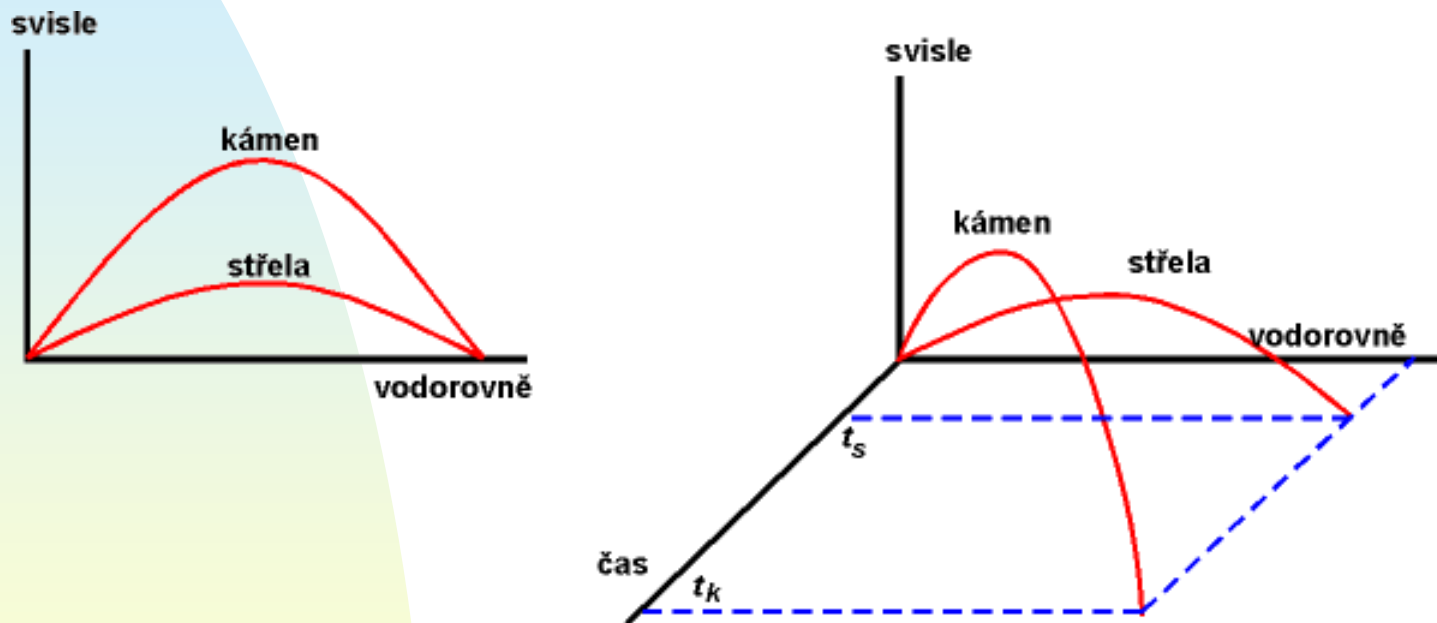
# základní principy

## Albert Einstein (1916):

1. Každé těleso zakřivuje prostor a čas kolem sebe (prostor i čas!).
2. Tělesa se pohybují po geodetikách (nejrovnějších možných drahách) v zakřiveném časoprostoru.

Neexistuje preferovaný souř. systém, neinerciálnost, setrvačnost a gravitace jsou relativní pojmy.

Žádným mechanickým, elektromagnetickým ani gravitačním experimentem nelze zvolit preferovaný souřadnicový systém.



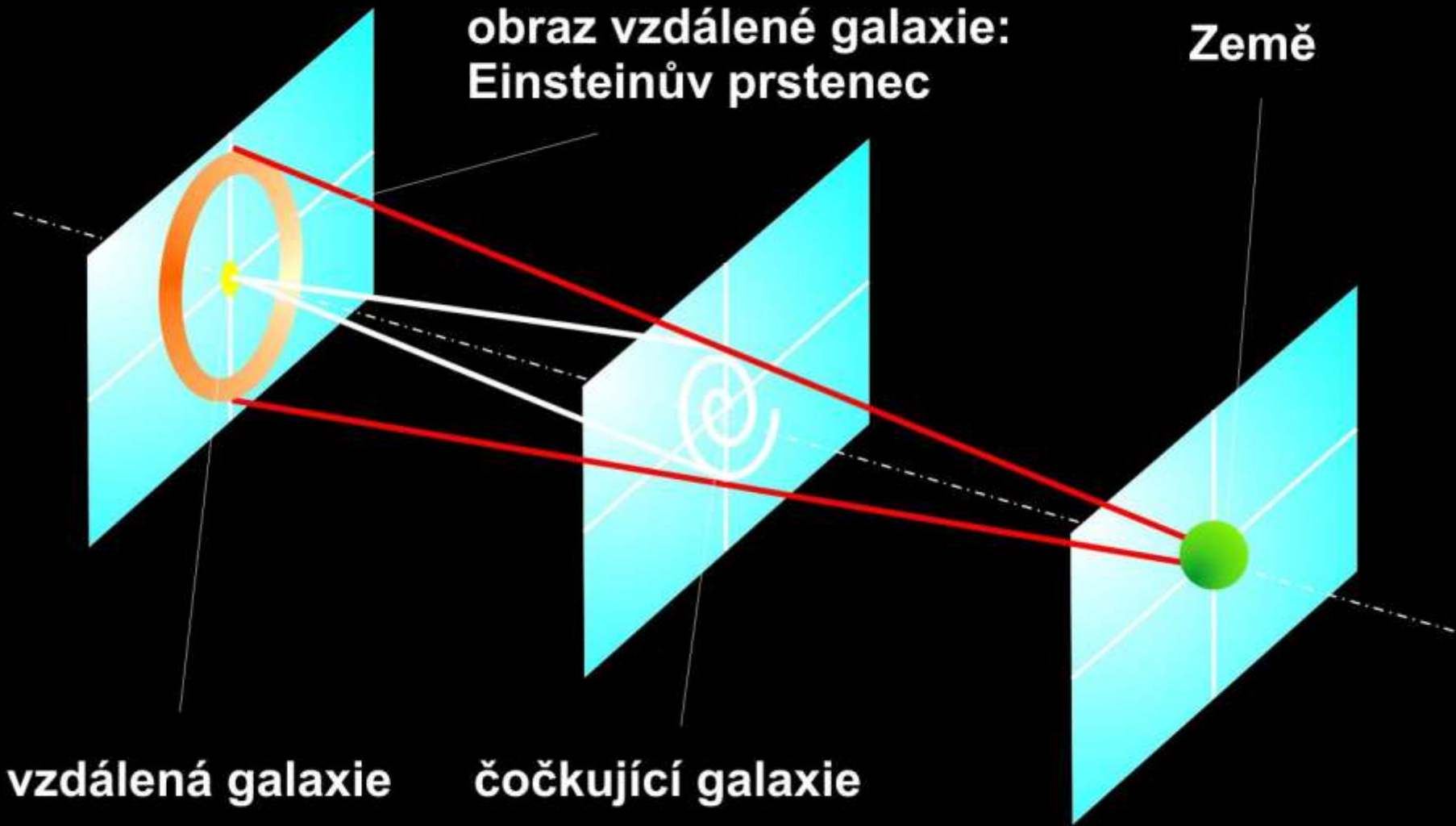
Na povrchu Země hodíme kámen a pod menším úhlem vystřelíme střelu tak, aby dopadly stejně daleko. Prostor je zakřiven přítomností Země a tak by se kámen i střela měly pohybovat po stejných křivkách. Zapomněli jsme ale na časovou osu. Na obrázku vpravo je stejná situace zakreslena i s časem. Vidíme, že kámen i střela se pohybují různými místy časoprostoru. Jestliže na časové a prostorových osách zvolíme stejné jednotky (to lze zařídit například tak, že místo času budeme používat kombinaci  $ct$ ), zjistíme, že obě trajektorie mají stejnou křivost.

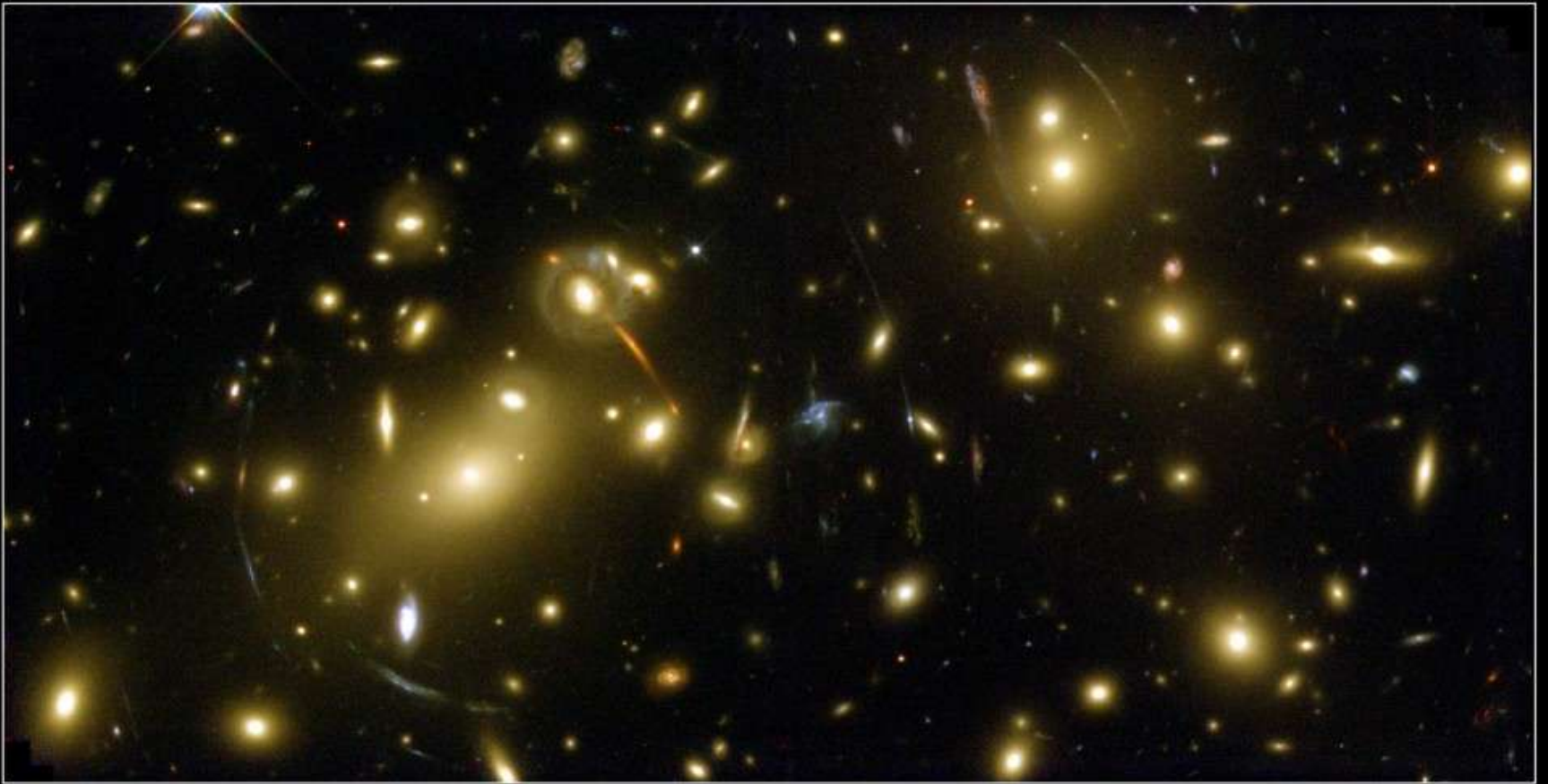
**obraz vzdálené galaxie:  
Einsteinův prstenec**

**Země**

**vzdálená galaxie**

**čočkující galaxie**

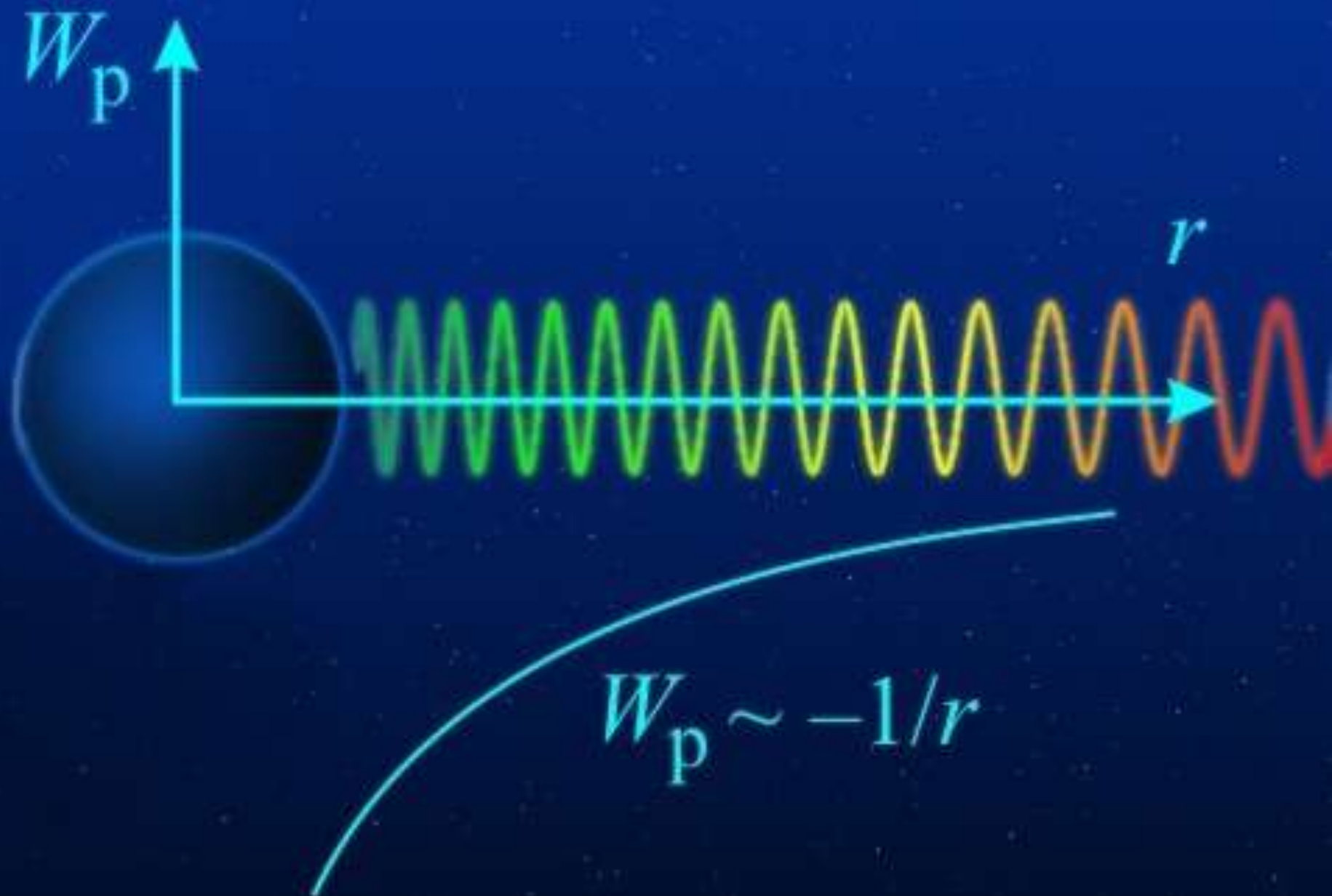




**Galaxy Cluster Abell 2218**  
Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08

# Zakřivení času



# Robert Pound, Glen Rebka, 1960, Jeffersonova laboratoř, Harvard

22,6 metru  
přesnost 10 %





# Joseph Hafele, Richard Keating, 1971, 1976

## Jeffersonova laboratoř, Harvard

10 km  
přesnost 1 %



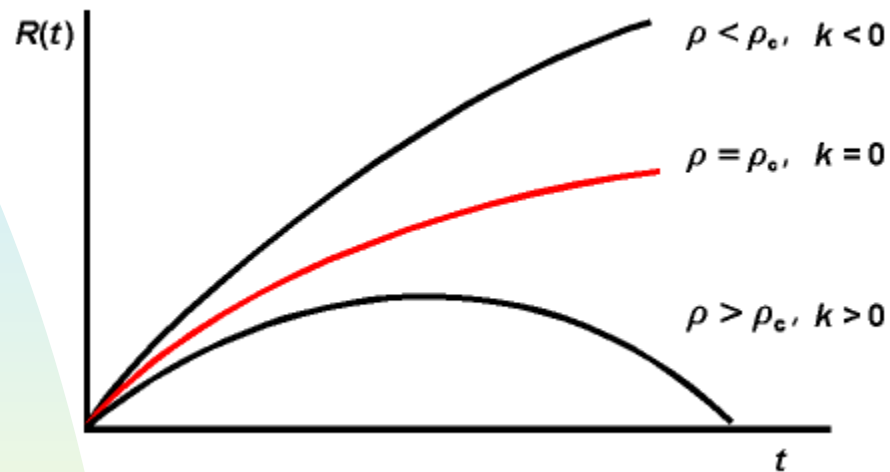
# Gravity Probe A, 1976



10 000 km  
přesnost 0,01 %

# Fridmanovo řešení

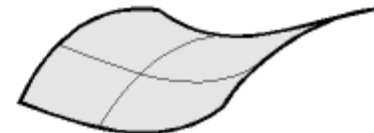
Alexandr Fridman, 1922



$$\rho = \rho_c$$

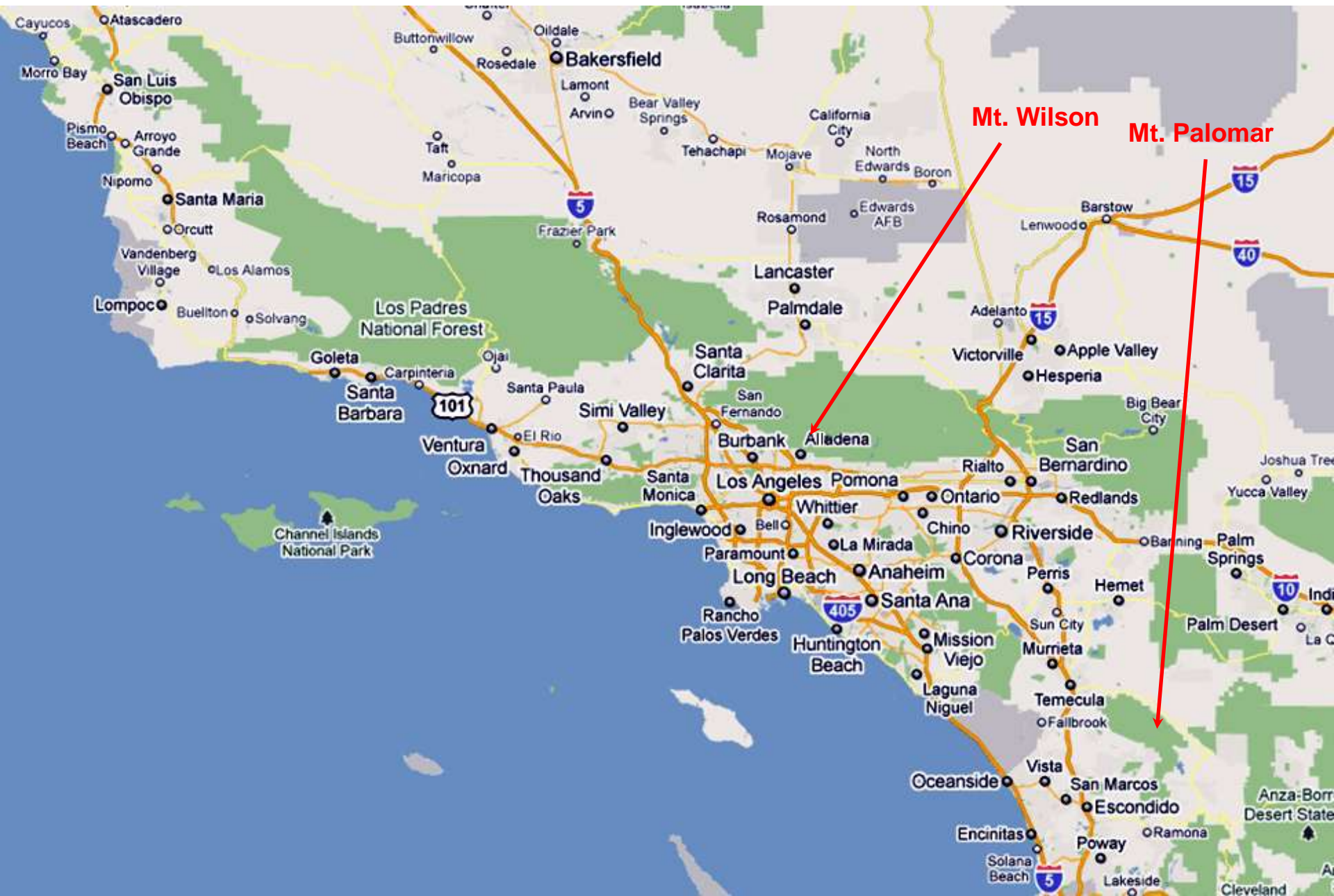


$$\rho > \rho_c$$



$$\rho < \rho_c$$

# Hubble na Mt. Wilsonu (1919–1953)

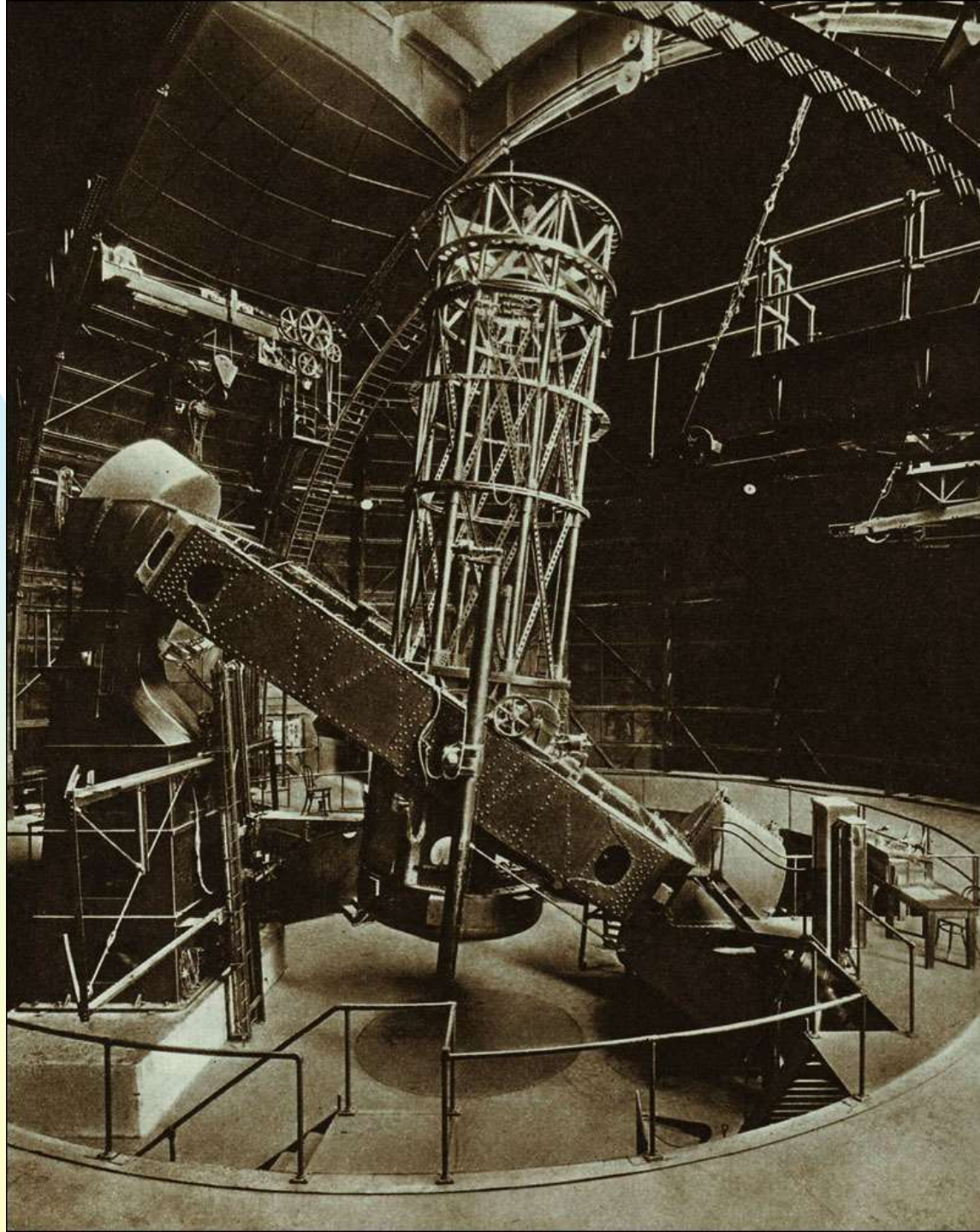


# Mt. Wilson (1917)



# Mt. Wilson (1917)





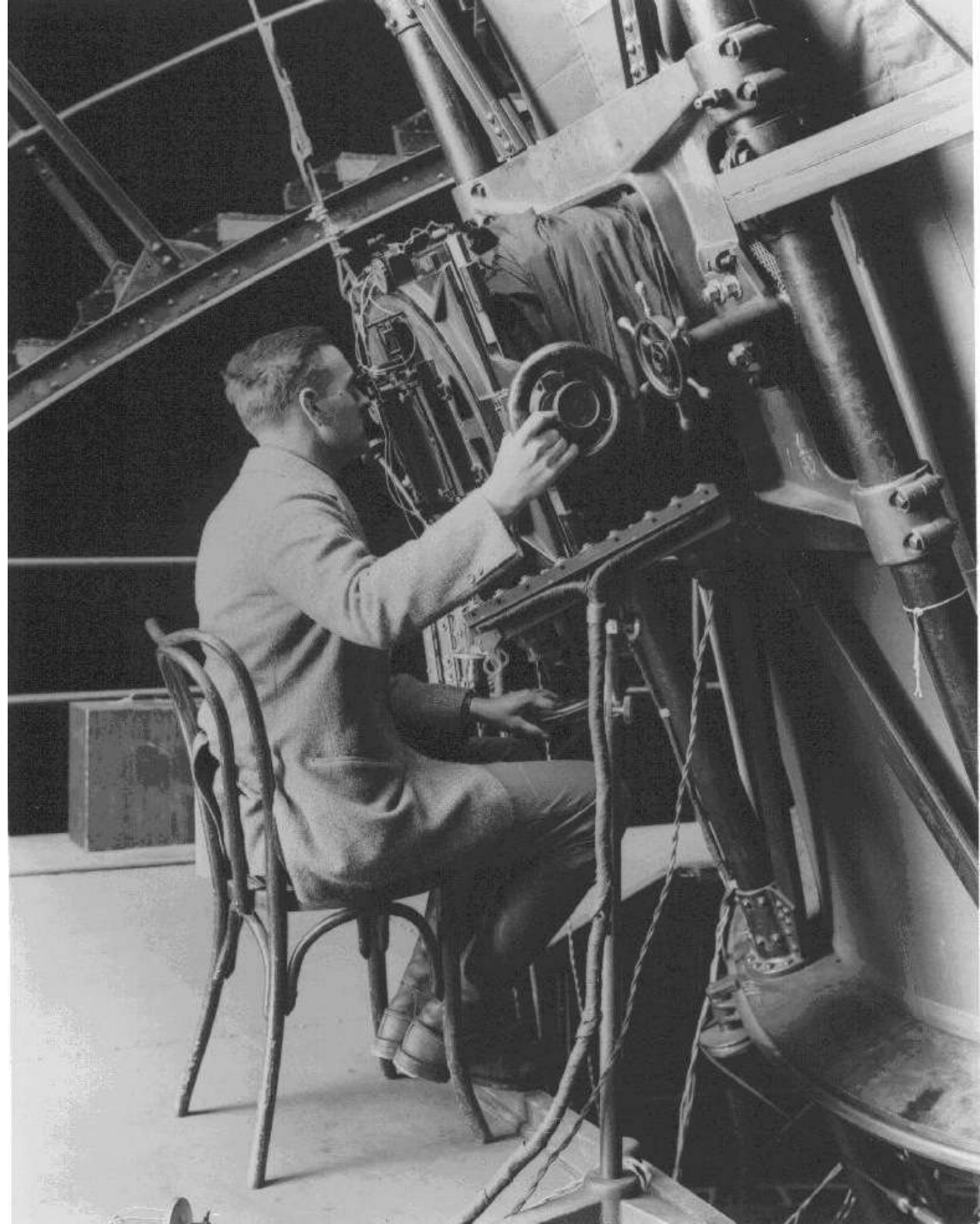




Edwin Hubble



# Edwin Hubble na Mt. Wilsonu (1919–1953)



# 1929 – červený posuv galaxií je úměrný vzdálenosti

$$v = H d$$

$$H = 73 \text{ km/s/Mpc}$$

