Gravitace

Jakub Rozehnal, Petr Kulhánek

Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy

GRAVITACE

sluneční soustava

– chůze
– vlny
– tíže
– příliv a odliv
– kulatý tvar planet a hvězd
– sluneční soustava
– hvězdokupy galaxie, kupy
– expanze vesmíru

ELEKTROMAGNETICKÁ

blesky

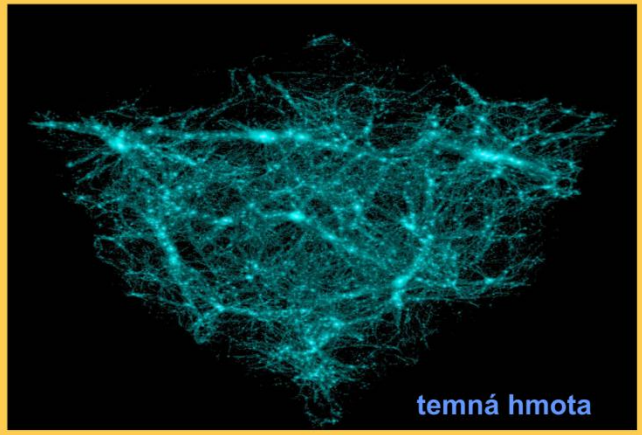
– bouřky
– atomy a molekuly
– chemie
– elektronika
– světlo, elmg. vlny
– magnetická aktivita hvězd
– magnetosféry planet
– galaktické bubliny

SILNÁ

kvark-gluonové plazma

– stavba hadronů
– neutrony a protony
– atomové jádro
– jaderné reaktory
– hadronizace látky
– tvorba lehkých prvků
– fúze v nitru hvězd
– tvorba těžkých prvků

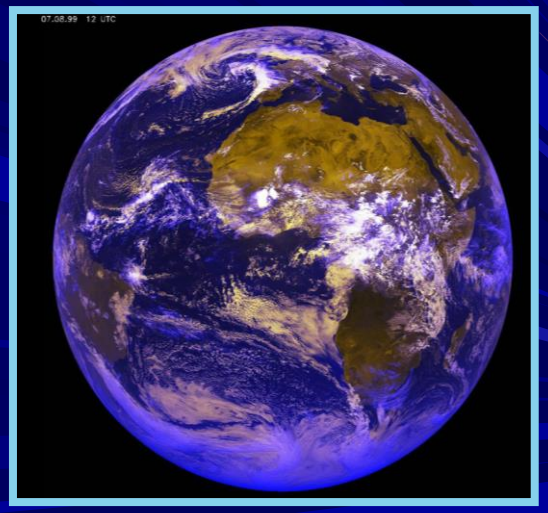
SLABÁ


temná hmota

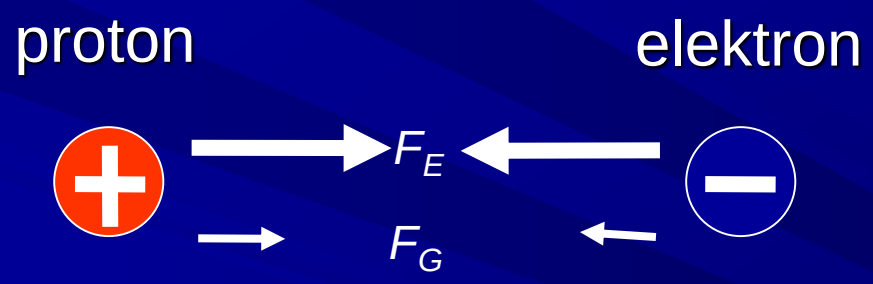
– rozpady částic
– beta rozpad
– pp řetězec
– neutrina z reaktorů
– sekundární spršky
– reliktní neutrina
– rozpad volných neutronů
– wimpy a temná hmota

Projevy gravitace

- *Na první pohled je gravitace nejvýznamnější silou*
  - zdánlivě formuje vesmír jako celek
  - formuje tvar hmotnějších těles
  - určuje tělesům, jak a kam se mají pohybovat



Gravitace – nejslabší síla



$$F_G = G\frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$F_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_e q_p}{r^2}$$

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{q_e q_p/(4\pi\varepsilon_0)}{G m_e m_p} \approx \frac{\left(1,6.10^{-19}\right)\times\left(1,6.10^{-19}\right)/\left(12\times 9\times 10^{-8}\right)}{\left(6,67\times 10^{-11}\right)\times\left(9\times 10^{-31}\right)\times\left(1,7\times 10^{-27}\right)} \approx$$

$$\approx \frac{10^{-28}}{10^{-67}} \approx 10^{39}!$$

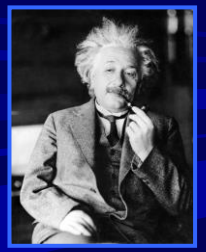
V čem tkví „síla“ gravitace?

- *Elektromagnetická síla působí jen na částice s nenulovým nábojem. Dosah nekonečný.*
- *Slabá interakce působí pouze na leptony a kvarky (částice s „vůní“). Dosah 10^{-18} m.*
- *Silná interakce působí pouze na kvarky a gluony (částice s „barvou“). Dosah 10^{-15} m.*

- *Gravitace je jediná interakce, která působí na všechny objekty ve vesmíru. Dosah nekonečný.*

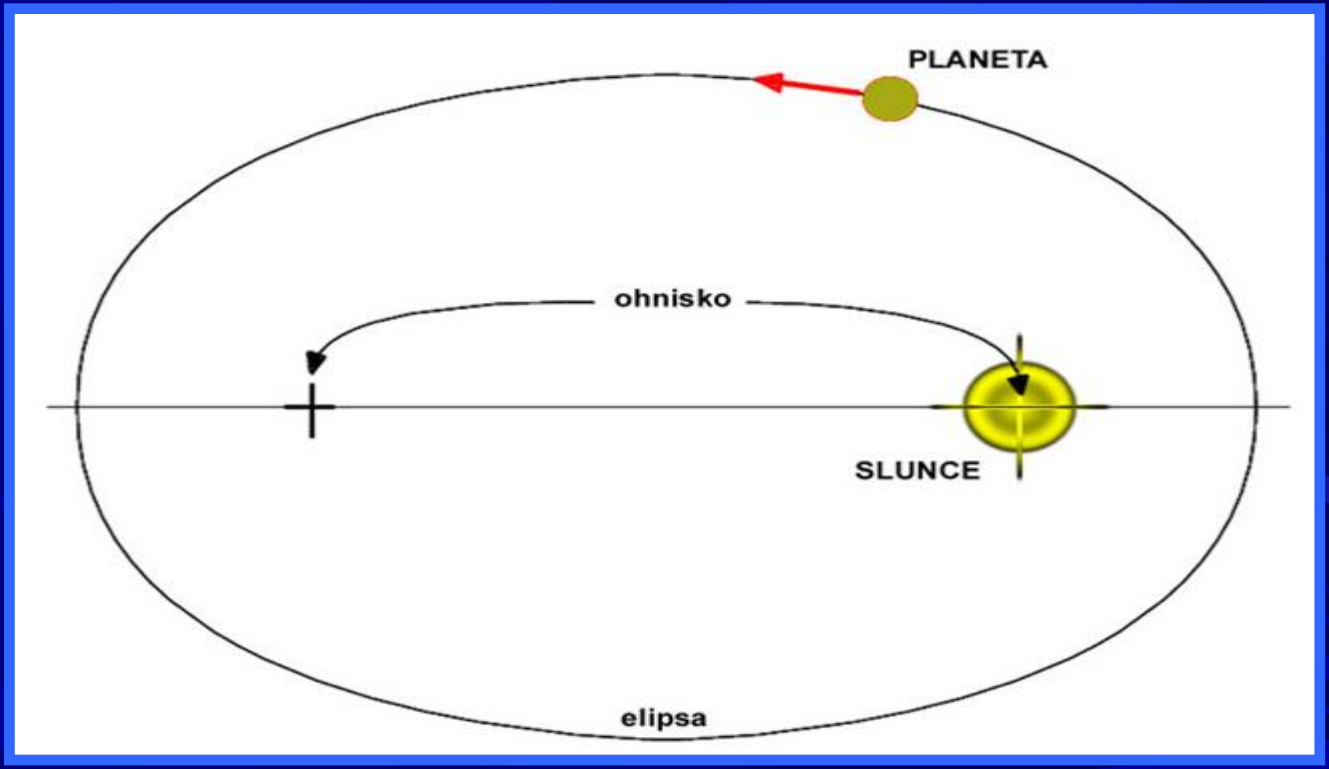
Trocha historie

- *Galileo Galilei (1564 – 1642)*
  - první gravitační experimenty
- *Tycho Brahe (1546 – 1601)*
  - detailní měření poloh planet
- *Johannes Kepler (1571 – 1630)*
  - tři zákony o pohybu planet
- *Isaac Newton (1643 – 1727)*
  - univerzální gravitační zákon
- *Albert Einstein (1879 – 1955)*
  - obecná relativita



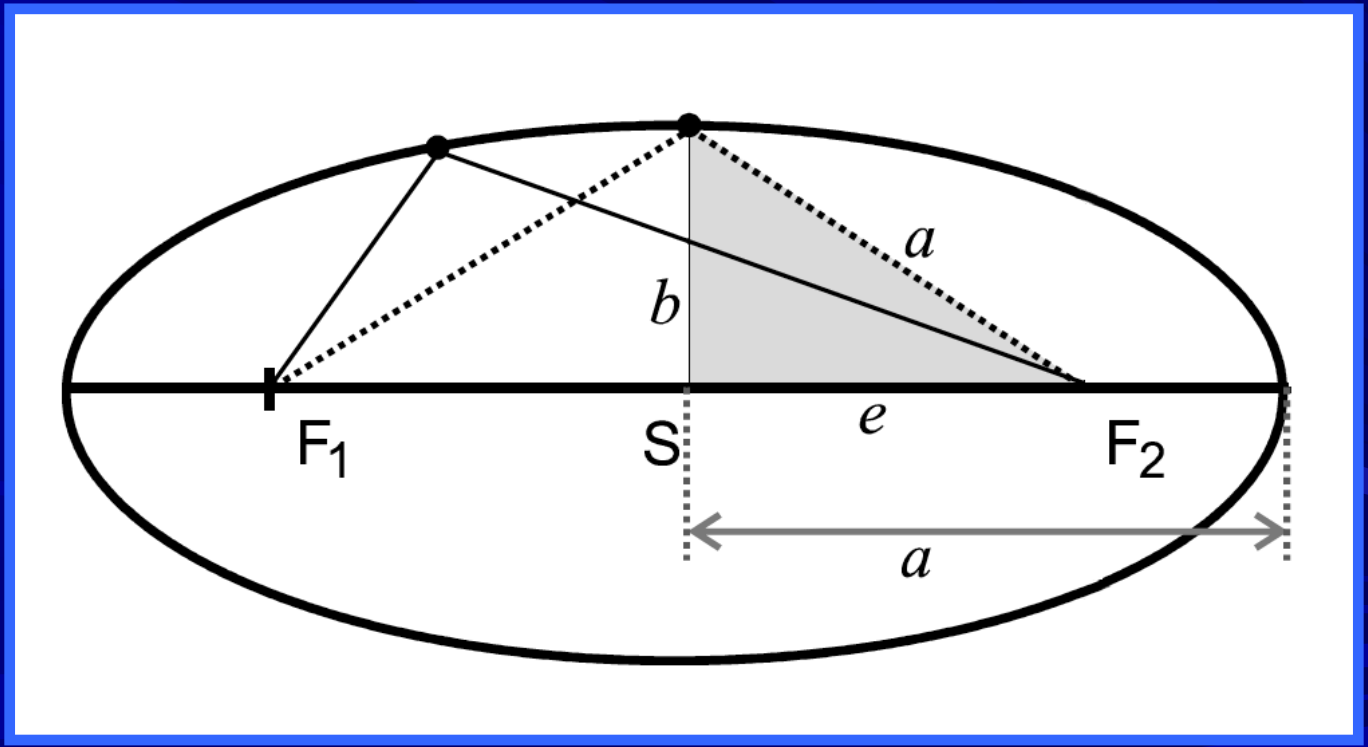
I. Keplerův zákon

- *„Planety se pohybují v rovině po eliptických drahách, v jejichž ohnisku je Slunce.“*



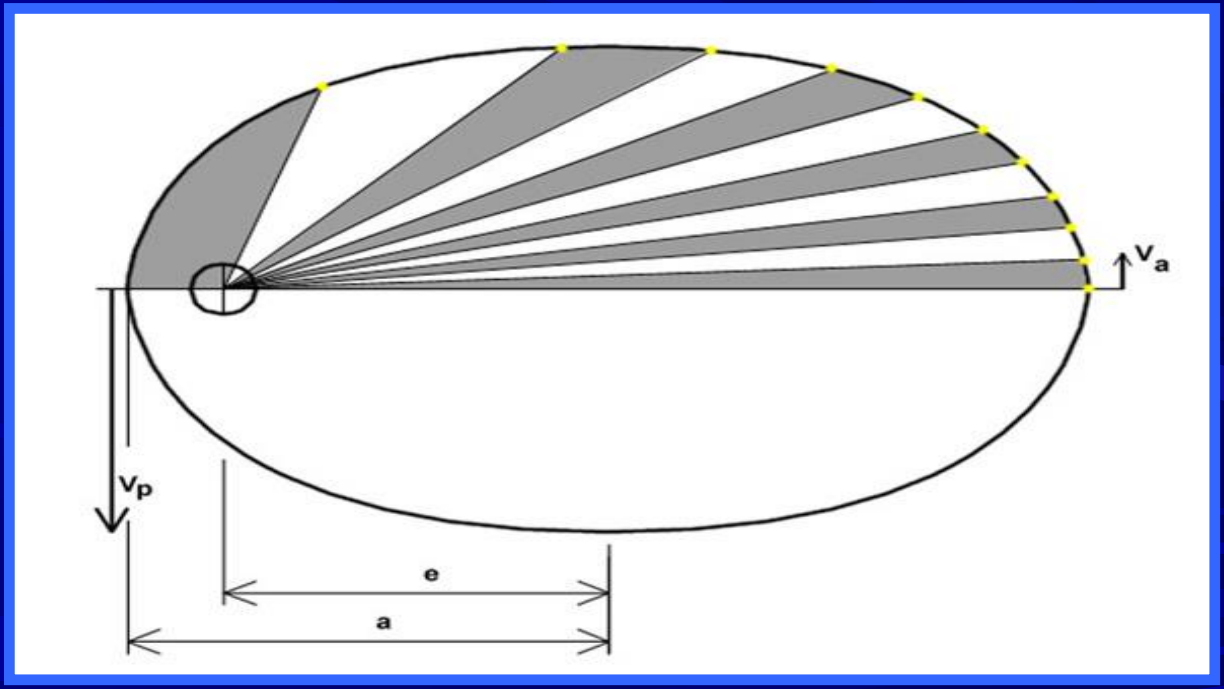
I. Keplerův zákon

- *„Planety se pohybují v rovině po eliptických drahách, v jejichž ohnisku je Slunce.“*



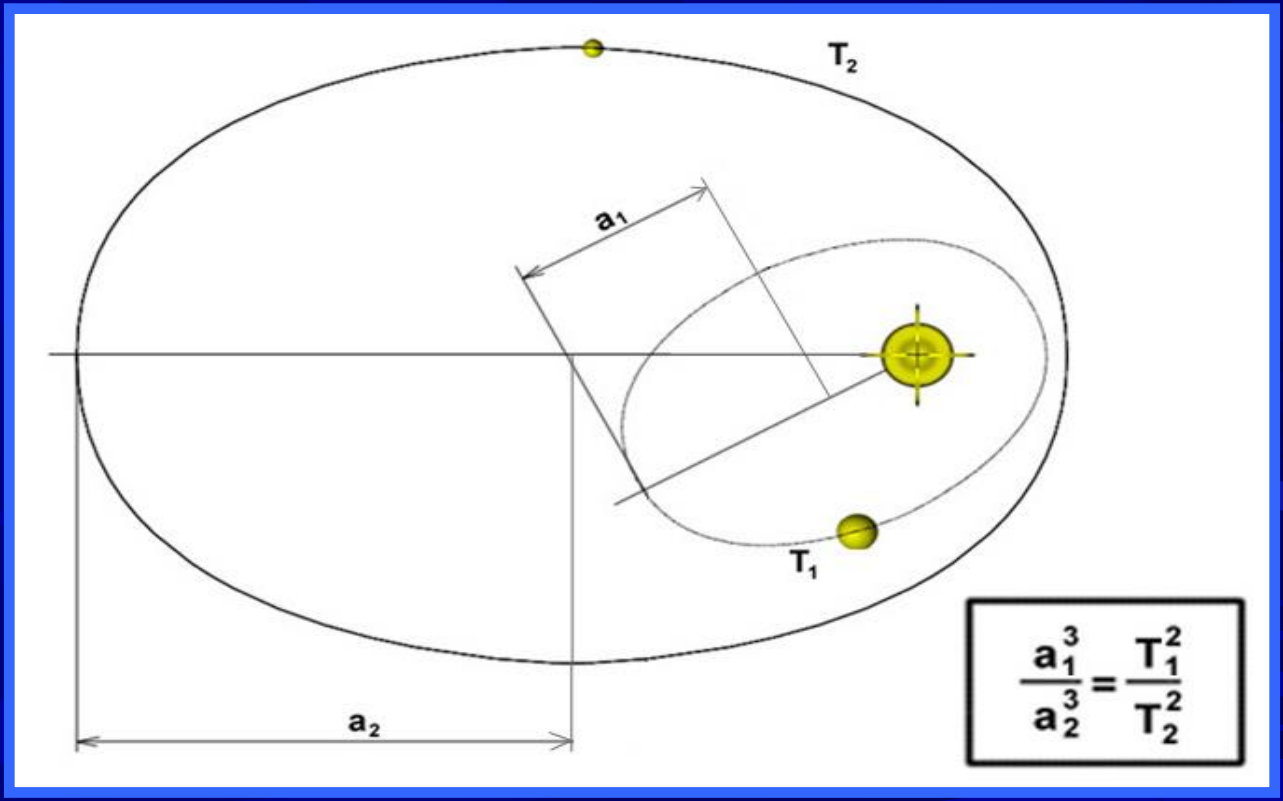
II. Keplerův zákon

- *„Plocha opsaná průvodičem planety za jednotku času je konstantní.“*
  („Moment hybnosti planety se zachovává.“)



III. Keplerův zákon

- *„Podíl třetích mocnin velkých poloos drah je roven podílu kvadrátu oběžných dob.“*

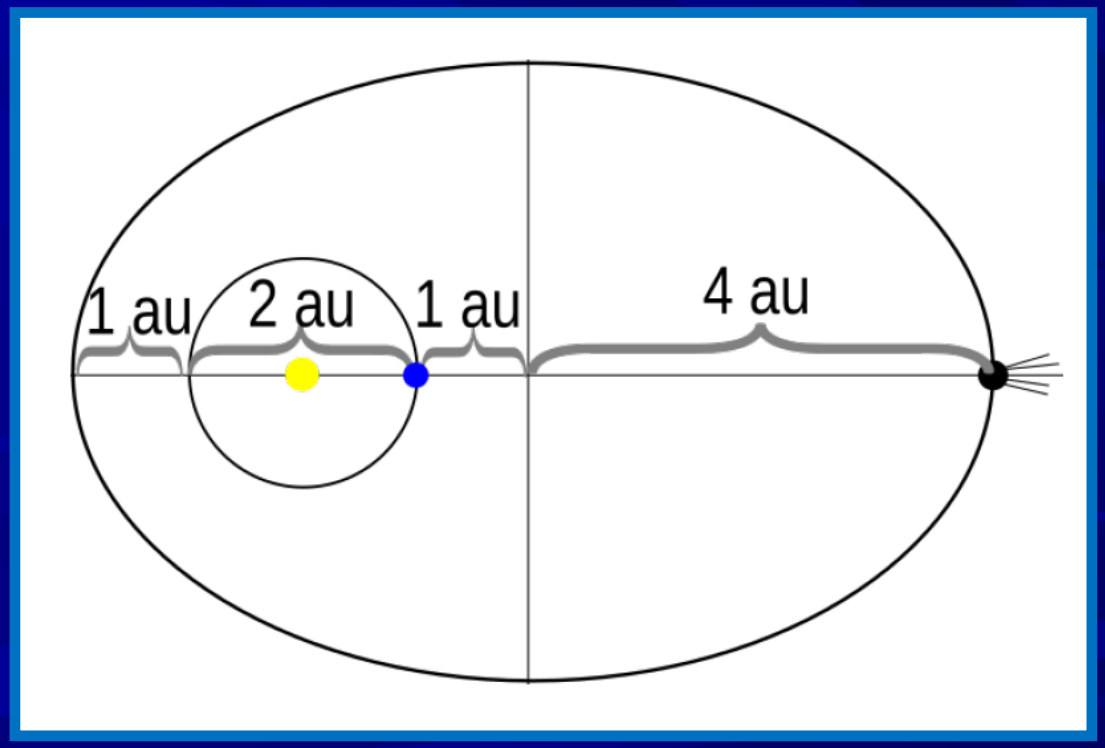


Příklad 1

Kometa se v okamžiku opozice se Sluncem nacházela v aféliu. Její vzdálenost od Země tehdy činila 5 au. Velká poloosa její dráhy je 4 au. Za jak dlouho projde kometa přísluním? V jaké vzdálenosti bude v tom okamžiku od Slunce a od Země?

Příklad 1

Kometa se v okamžiku opozice se Sluncem nacházela v aféliu. Její vzdálenost od Země tehdy činila 5 au. Velká poloosa její dráhy je 4 au. Za jak dlouho projde kometa přísluním? V jaké vzdálenosti bude v tom okamžiku od Slunce a od Země?



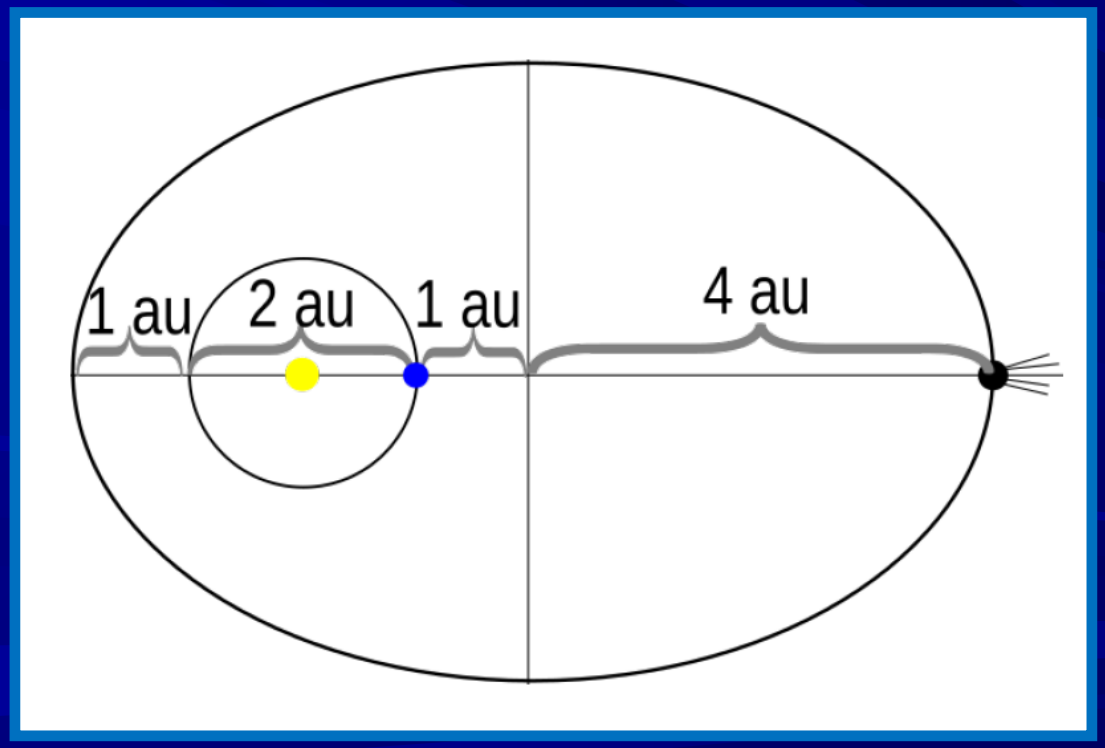
$$T_K = ?$$
$$a_K = 4\,\mathrm{au}$$

$$T_Z = 1\,\mathrm{rok}$$
$$a_Z = 1\,\mathrm{au}$$

Příklad 1

$$\frac{T_K^2}{T_Z^2} = \frac{a_K^3}{a_Z^3} \quad \Rightarrow \quad T_K^2 = \frac{a_K^3}{a_Z^3} \times T_Z^2 = \frac{4^3}{1^3} \times 1\,\text{rok}^2 = 64\,\text{rok}^2$$

$$T_K = 8\,\text{roků}$$

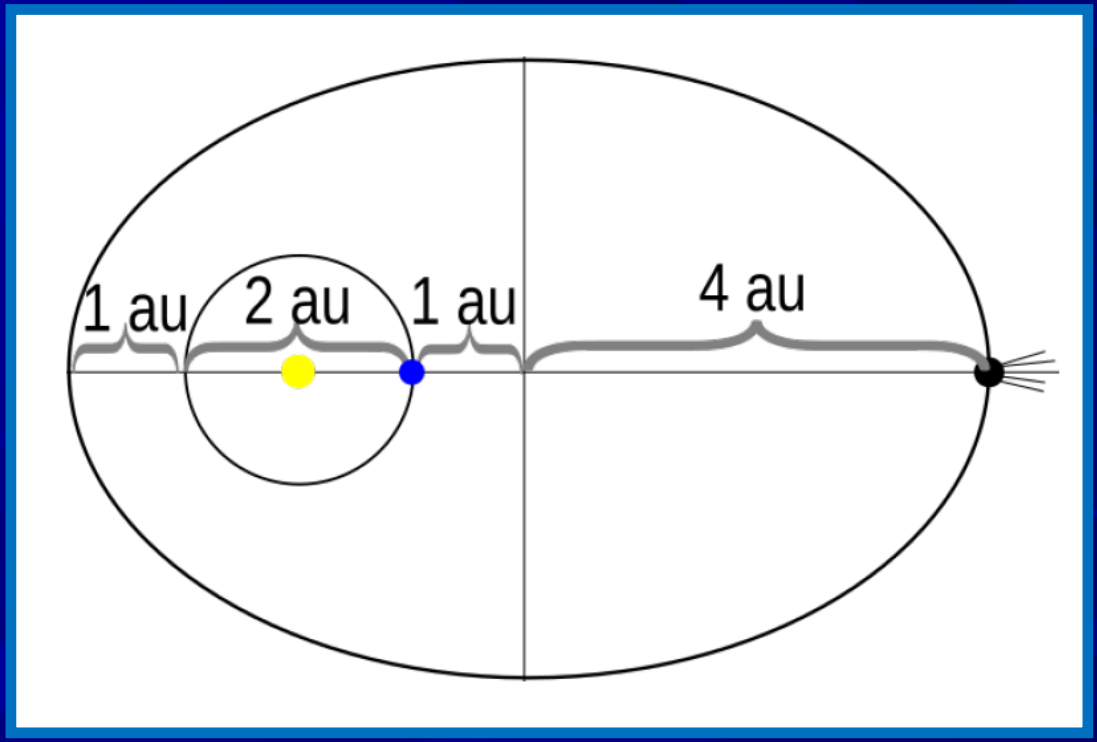


$$T_K = ?$$
$$a_K = 4\,\text{au}$$

$$T_Z = 1\,\text{rok}$$
$$a_Z = 1\,\text{au}$$

Příklad 1

Perioda je 8 roků, tzn. přísluním projde za 4 roky. Protože je to celý počet roků, Země udělá přesně 4 oběhy a bude na stejném místě. Z nákresu je pak patrné že projde ve vzdálenosti 3 au od Země a 2 au od Slunce.



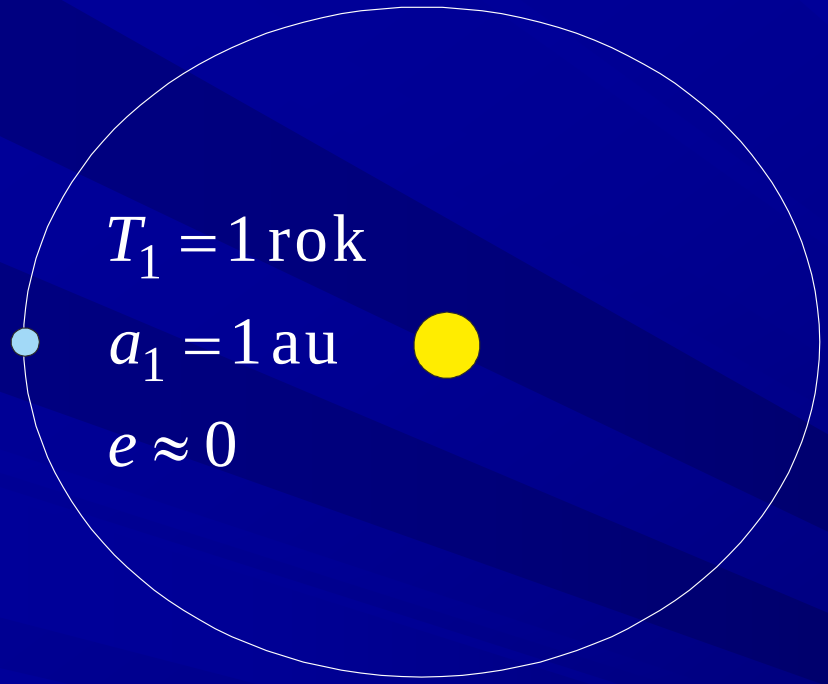
Příklad 2

Jak dlouho by padala Země do Slunce, kdybychom ji zastavili?

Nelze použít vztah pro volný pád,

tíhové zrychlení se mění!

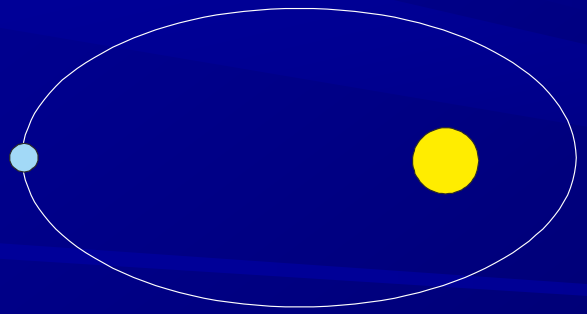
Půjdeme na to od lesa – přes třetí Keplerův zákon



$T_1 = 1\,\text{rok}$

$a_1 = 1\,\text{au}$

$e \approx 0$



$T_2 = ?$

$a_2 = 0,5\,\text{au}$

$e = a$

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3} \quad \Rightarrow$$

$$T_2^2 = \frac{a_2^3}{a_1^3} \times T_1^2 = \frac{0,5^3}{1^3} \times 1\,\text{rok}^2$$

$$T_2^2 = 0,125\,\text{rok}^2$$

$$T_2 = 0,3536\,\text{roku} = 129\ \text{dní}$$

$$\text{doba pádu} = T_2 / 2 = 65\,\text{dní}$$

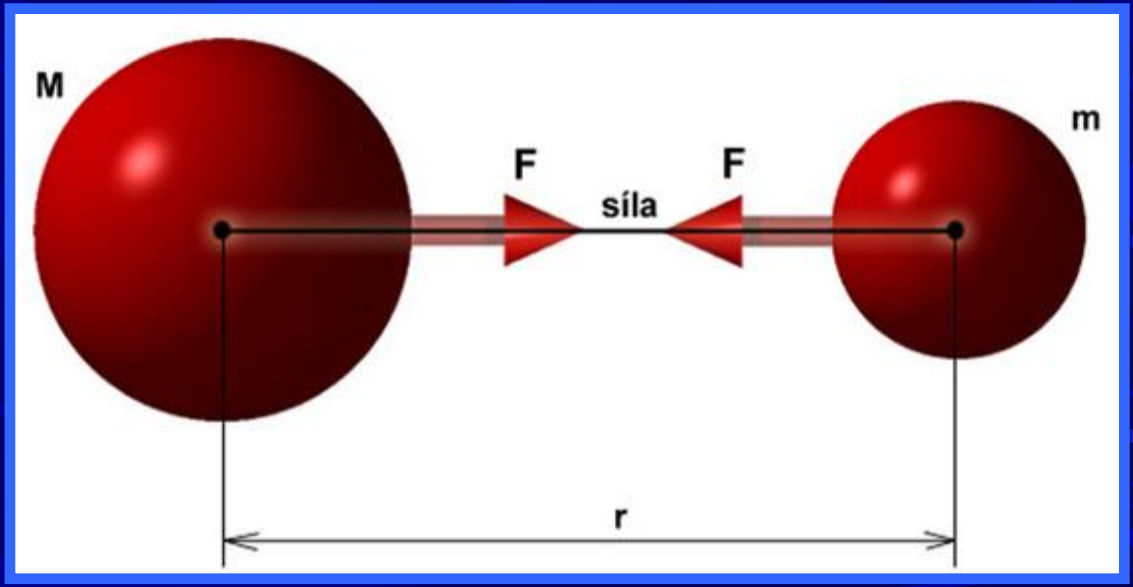
Proč nám Keplerovy zákony nestačí?

- *Zákony popisují **jak** se planety pohybují, ale neříkají **proč** se pohybují.*
- *Nepředpovídají, kde bude planeta v konkrétním čase*
- *Ač byly objeveny dříve než obecný gravitační zákon, jsou jeho přímým důsledkem.*
- *Zákony byly objevovány „zkusmo“.*

Newtonův gravitační zákon

- *„Mezi dvěma hmotnými objekty působí přitažlivá síla nepřímo úměrná kvadrátu vzdálenosti objektů a přímo úměrná součinu jejich hmotností.“*

$$F = G\frac{M.m}{r^2}$$

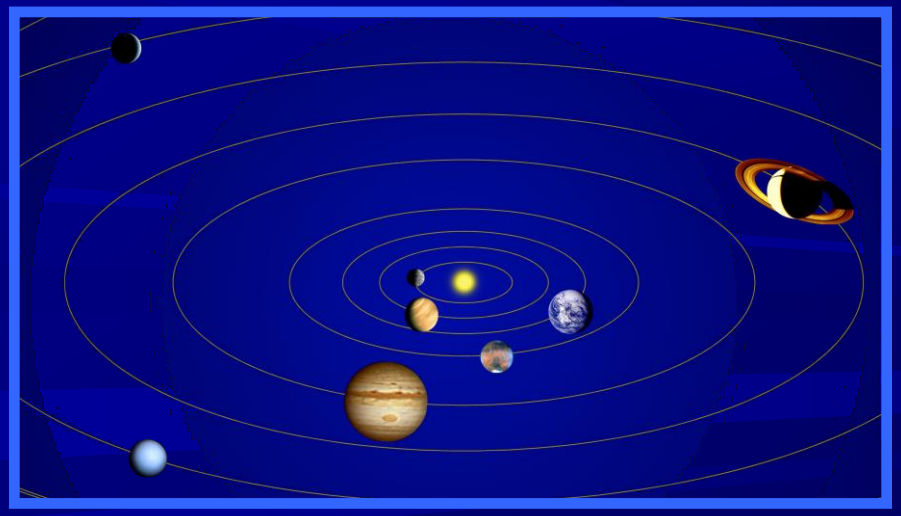


Newtonovy pohybové zákony

- *Samotný gravitační zákon nestačí k vysvětlení oběhu planet okolo Slunce*
- *Chování těles popisují tři Newtonovy pohybové zákony*
  - zákon setrvačnosti
  - zákon síly
  - zákon akce a reakce

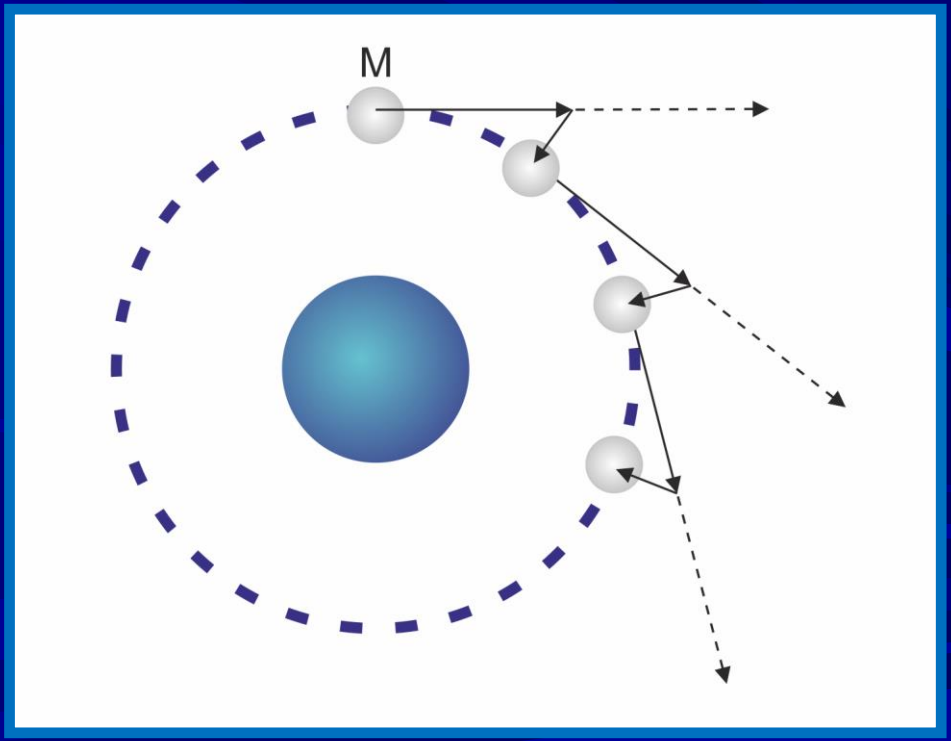
Zákon setrvačnosti

- *„Těleso zůstává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není působením vnějších sil nuceno tento stav změnit.“*
- *Důsledek: planety ani tělesa na oběžné dráze nic nepohání, obíhají setrvačností.*



Padá Měsíc na Zemi?

- *Oběh je dán složením dvou pohybů:*
  - vlivem přitažlivosti Měsíc „padá“
  - vlivem setrvačnosti se Měsíc pohybuje rovnoměrně přímočaře

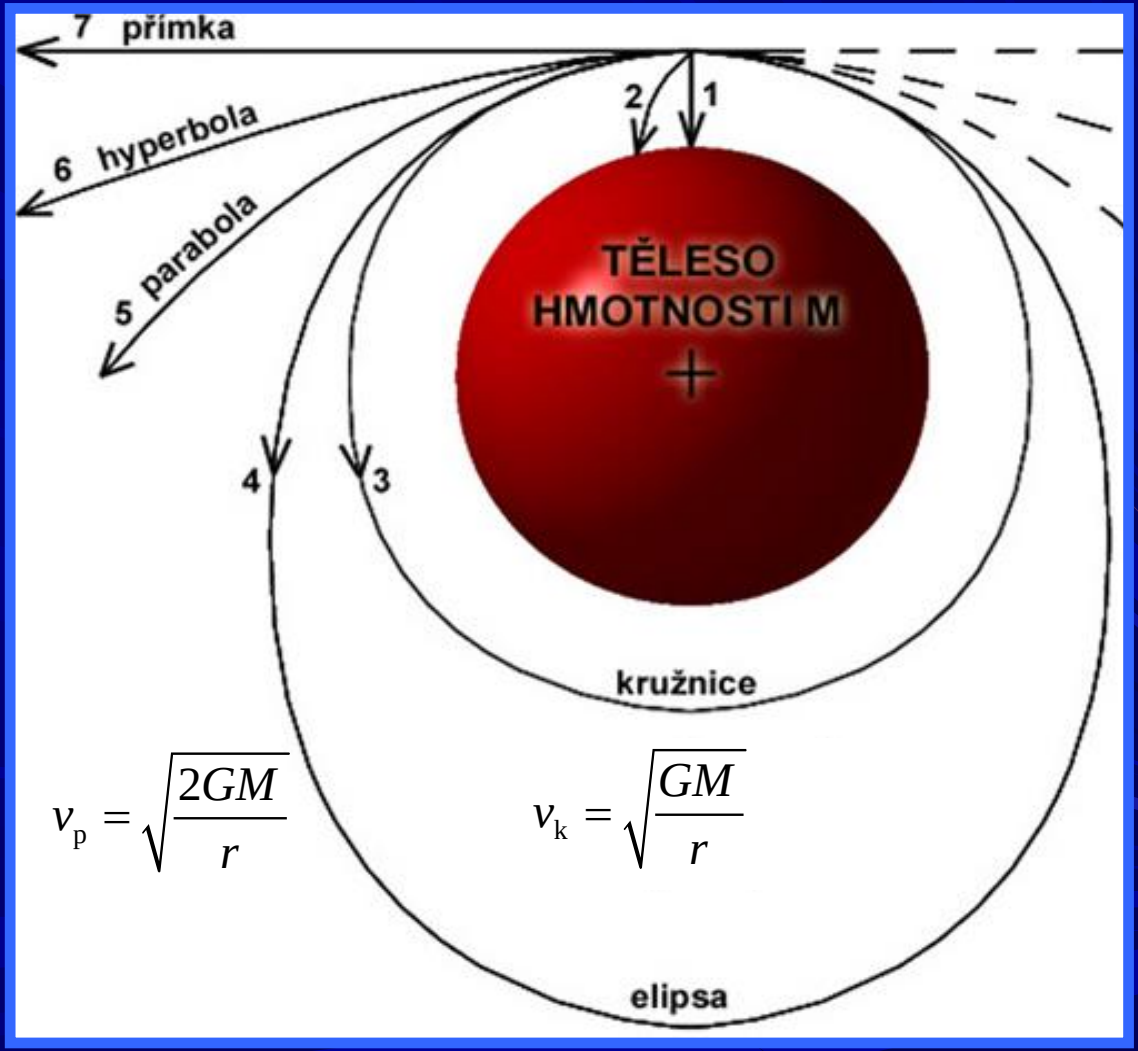


Zákon síly

- *„Zrychlení tělesa je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné jeho hmotnosti“*
- $a = F / m$
- *„Síla působící na těleso hmotnosti m je přímo úměrná zrychlení, které mu uděluje.“*
- $F = m \cdot a$

Možné případy pohybu

- *minimální oběžná rychlost*
  - kruhová
  - 1. kosmická
- *úniková rychlost*
  - parabolická
  - 2. kosmická

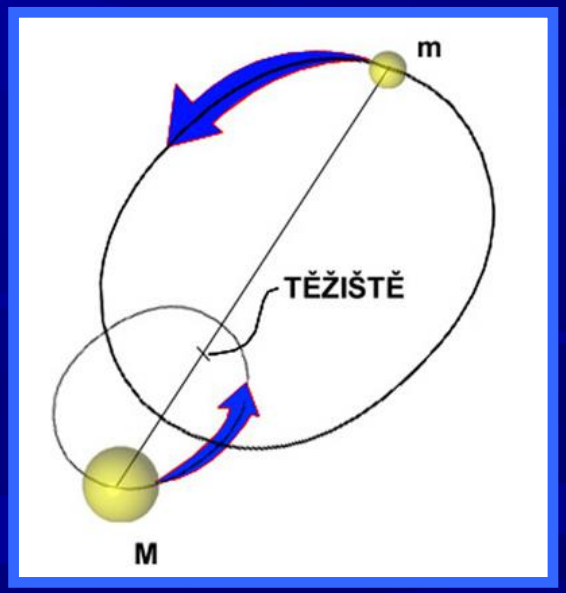


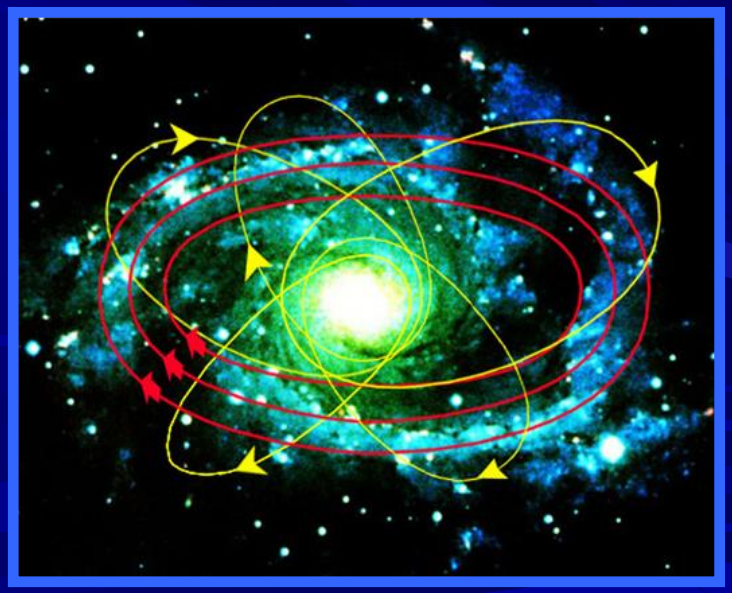
$$v_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$v_k = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Pohyby objektů ve vesmíru

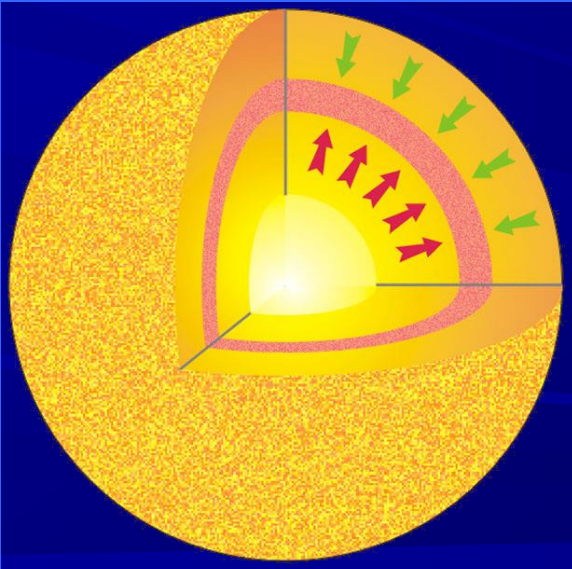
- *Podvojné soustavy obíhají (po elipsách) okolo společného těžiště*
- *Pohyb těles ve vícenásobných systémech je složitý, dráhu nelze řešit analyticky*





Gravitace ve hvězdách

- *život hvězdy = souboj s gravitací*
- *důsledek: průběh hvězdného vývoje závisí na hmotnosti*

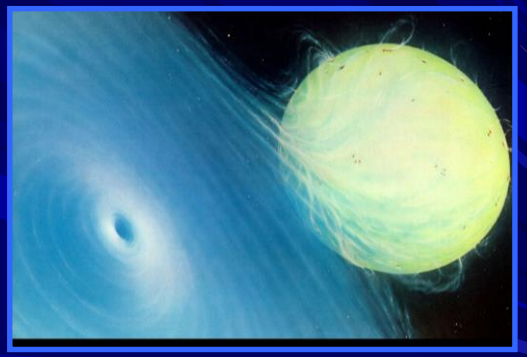


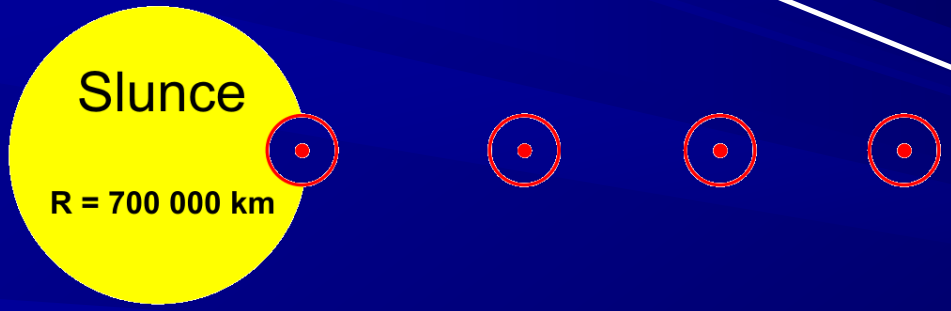
→ gravitace

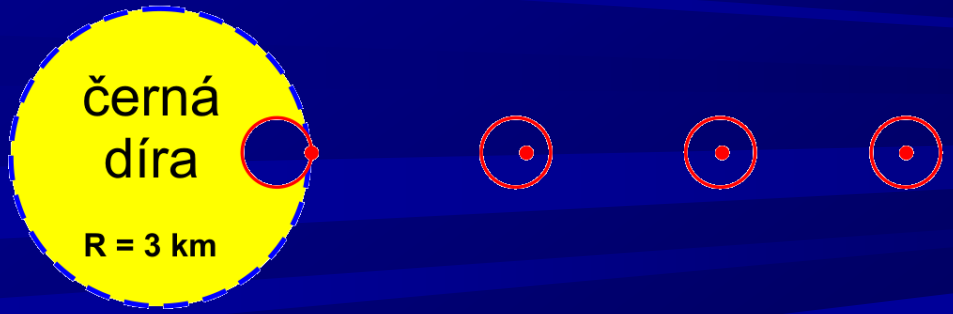
→ tlak plynu a záření

Závěrečná stádia vývoje hvězd

- *bílý trpaslík*
- *neutronová hvězda*
- *černá díra*





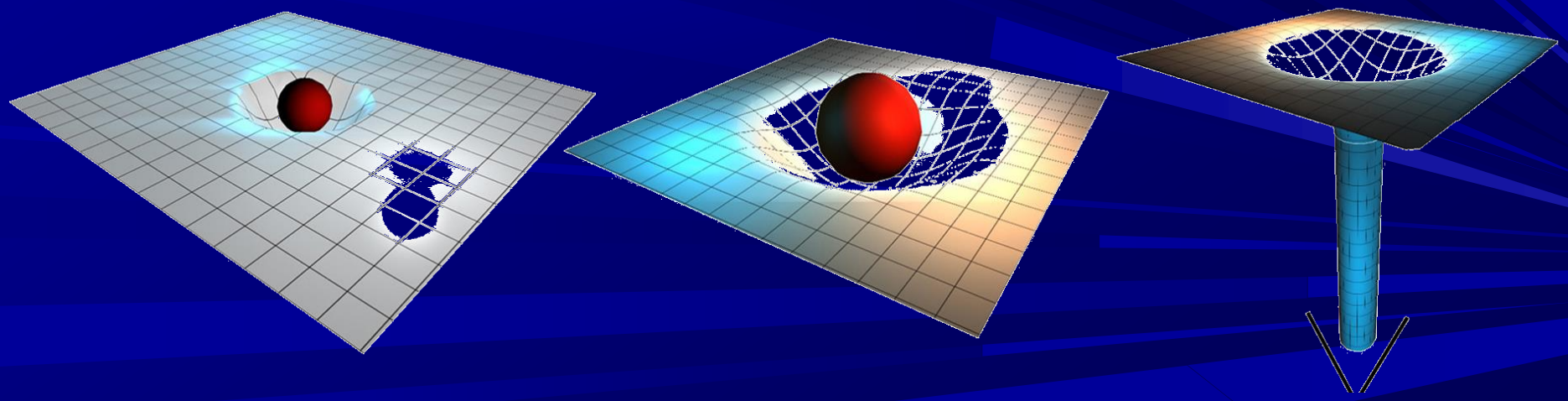


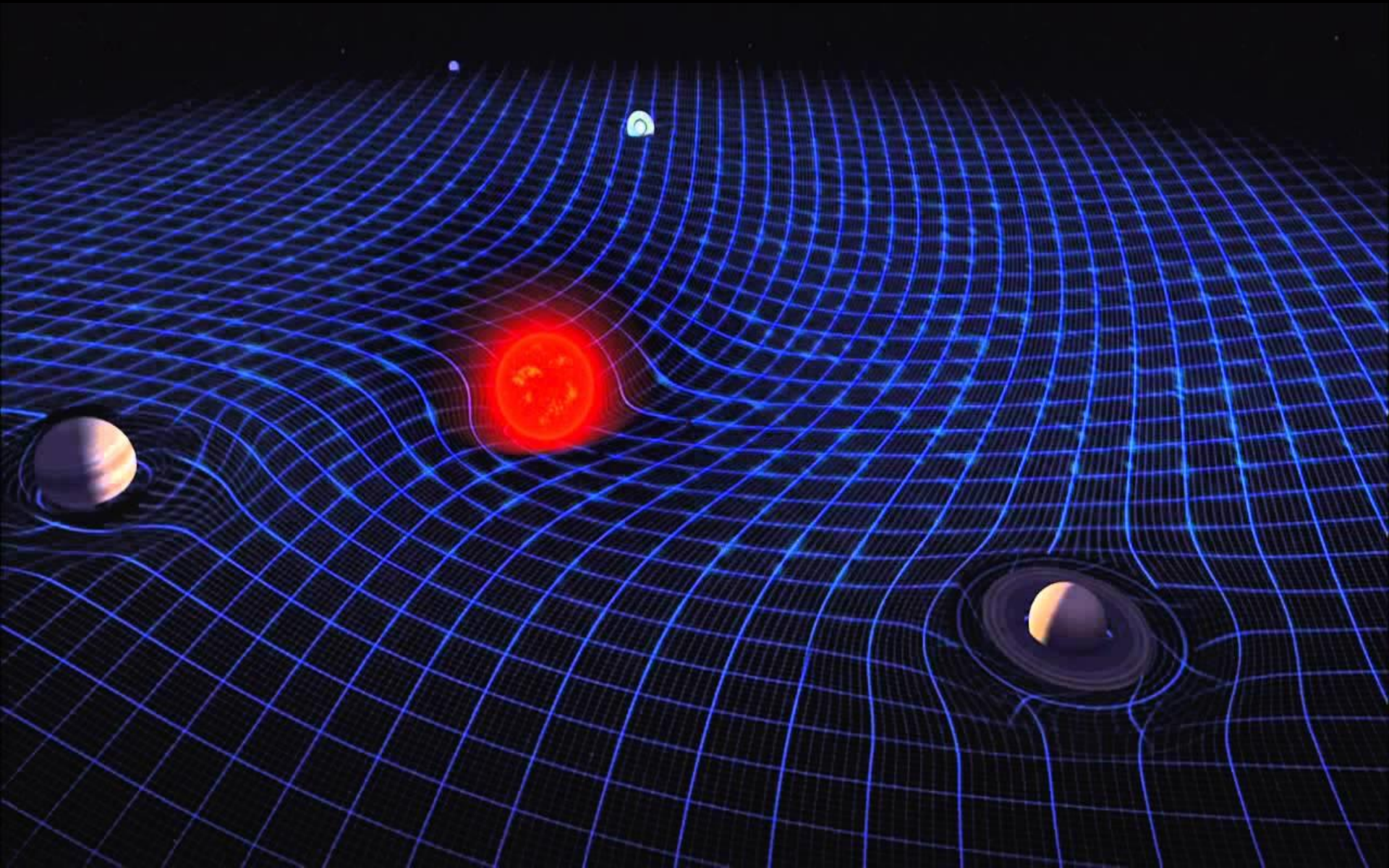
Problémy s klasickou teorií gravitace

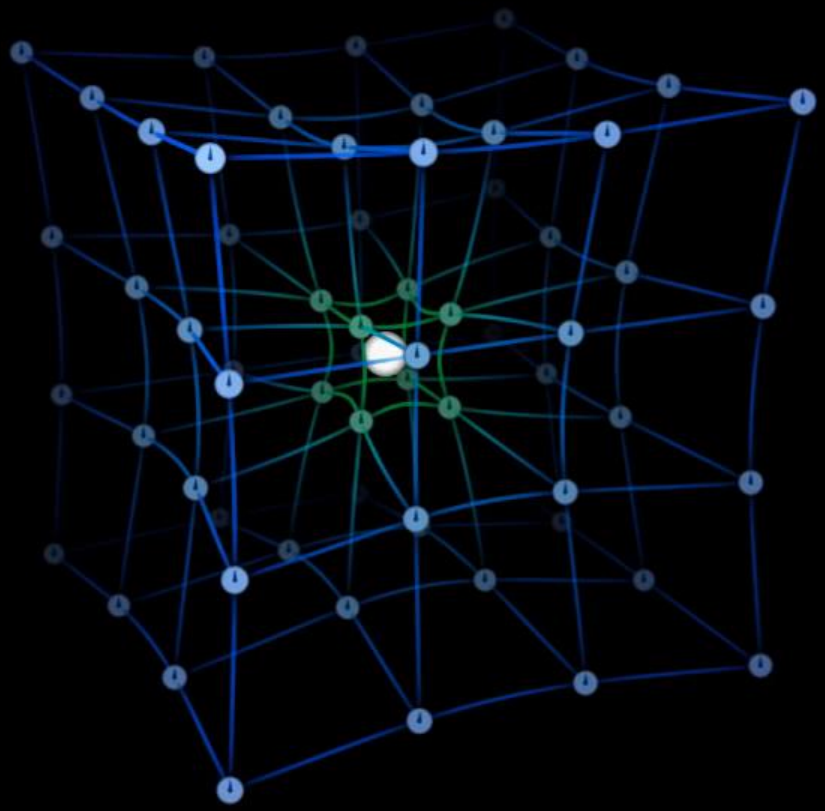
- *Newtonův gravitační zákon selhává*
  - u velmi silného gravitačního pole
  - při vysokých rychlostech částic
- *Nerespektuje požadavek na konečnou rychlost šíření interakce*
- *Nutnost zavedení nové teorie*
  - obecná teorie relativity

Obecná teorie relativity

- *popisuje působení gravitace bez použití síly*
- *předpokládá zakřivení časoprostoru v okolí hmotných těles*
  - tělesa se v zakřiveném prostoru pohybují po nejpřímějších drahách (geodetikách)

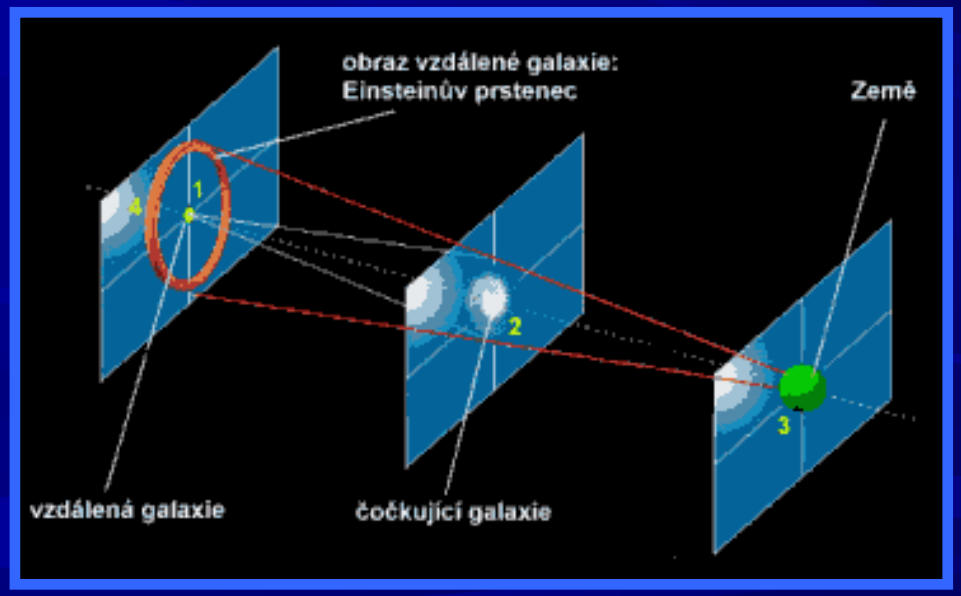


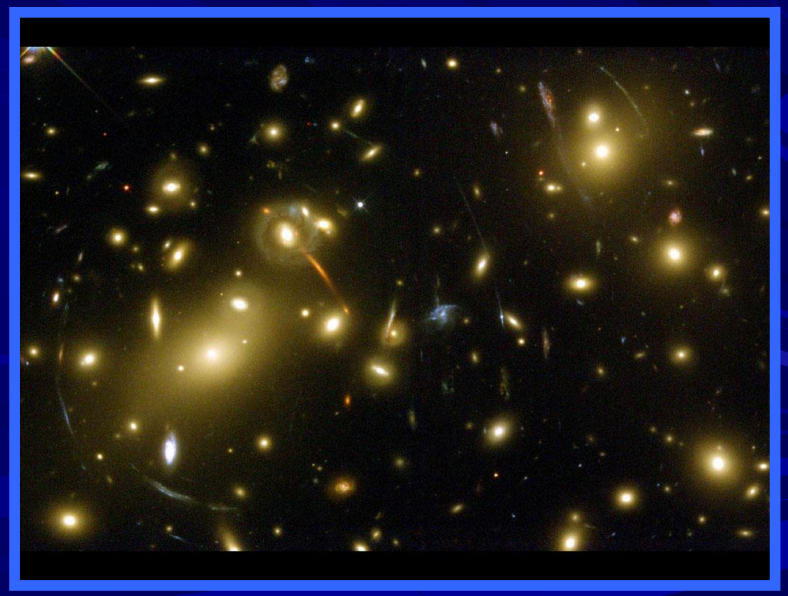




Důkazy platnosti OTR

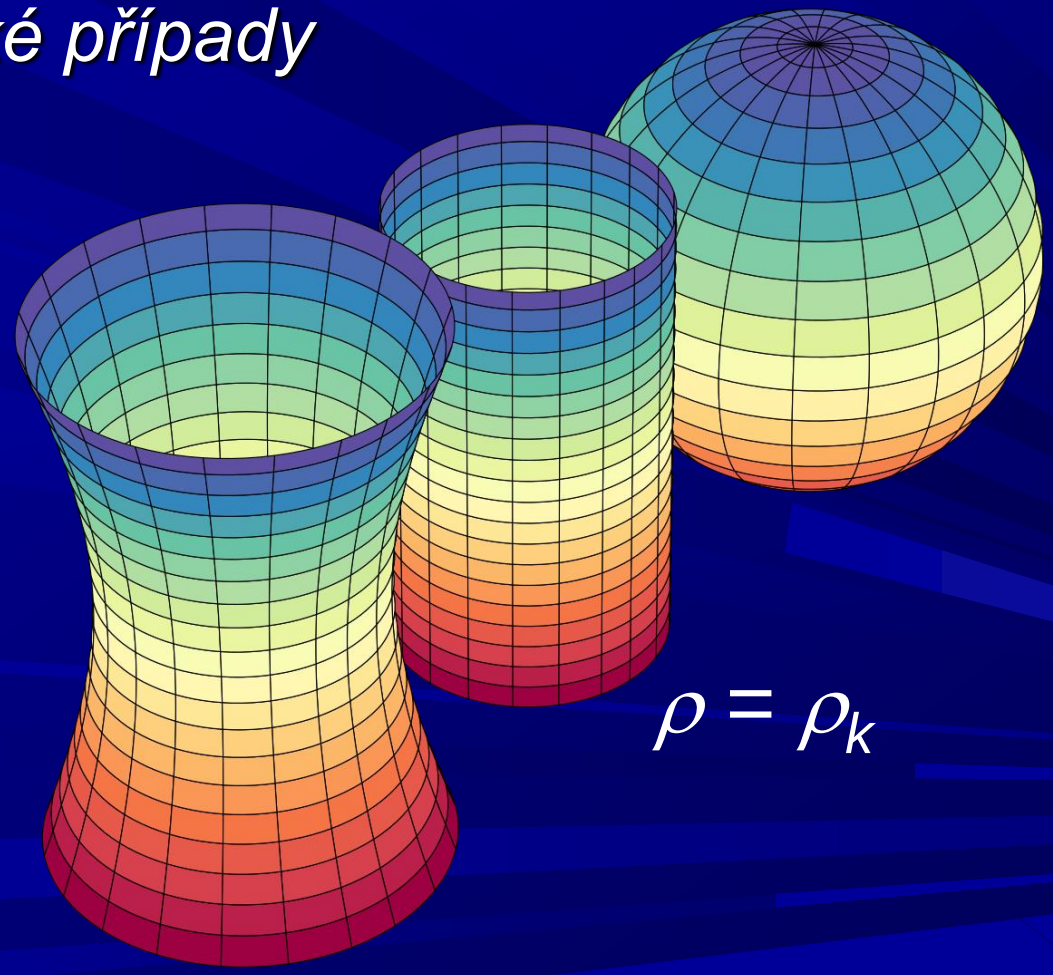
- *stáčení perihelu (přísluní) dráhy Merkuru (43"/stol)*
- *změna chodu času*
- *ohyb světelných paprsků v blízkosti hmotných těles*
- *gravitační čočky*
- *černé díry…*

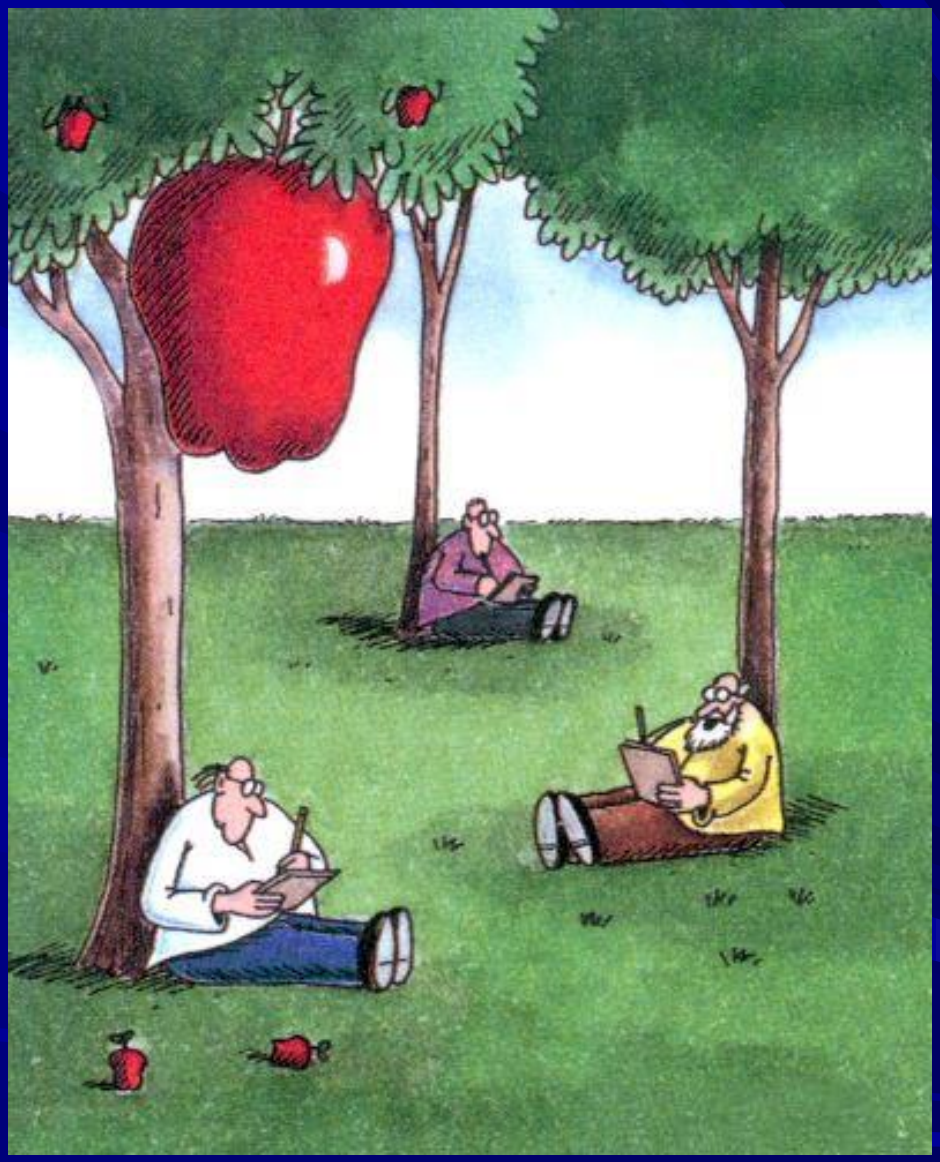




Zakřivení vesmíru

- *celkové množství hmoty-energie určuje zakřivení vesmíru → ovlivňuje jeho budoucí vývoj*
- *teoretické případy*





„Nothing yet. …How about you, Newton?“