

# Podstawy Fizyki

# dla Informatyki

Stanisław Drożdż  
Katedra Informatyki PK

# Grawitacja we Wszechświecie



Saturn z księżycami Tetys i Dione (Voyager-1, NASA)

# Grawitacja we Wszechświecie



Galaktyka spiralna NGC 4414 (HSTI, NASA)

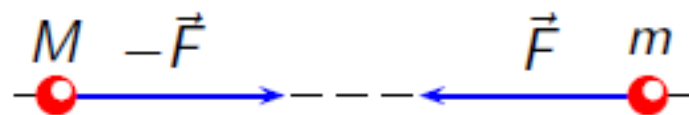
# Grawitacja we Wszechświecie



Grupa galaktyk (HSTI, NASA)

# Prawo powszechnego ciążenia (grawitacji)

- W 1665 r. I. Newton odkrył, że siły, które działają między obiektami w Kosmosie **mają taką samą naturę** jak siła powodująca spadanie ciał na ziemię.



Grawitacyjne przyciąganie się dwóch cząstek.

Wartość siły przyciągania grawitacyjnego między dwoma punktami:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2.$$

# Zasada superpozycji

## Zasada superpozycji dla grawitacji:

W przypadku ciał złożonych wypadkowa siła grawitacji jest **sumą wektorową** sił grawitacji działających między poszczególnymi punktami rozpatrywanych ciał.

## Przyciąganie grawitacyjne jednorodnej sfery:

Ciało o kształcie jednorodnej powłoki przyciąga cząstkę znajdującą się **na zewnątrz powłoki** tak, jak gdyby jego masa była **skupiona jego środka**.



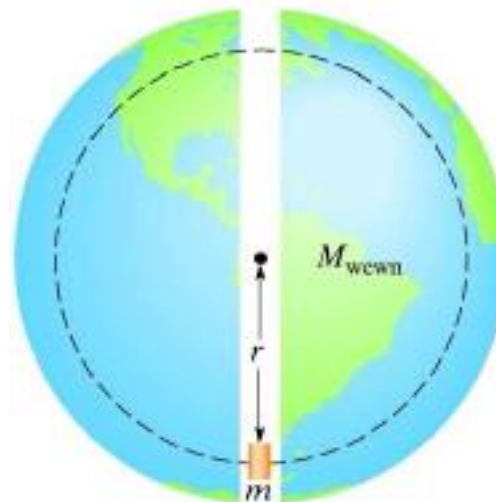
Przyciąganie jabłka i Ziemi (HRW).



# Zasada superpozycji

## Przyciąganie grawitacyjne jednorodnej sfery:

**Wypadkowa** siła grawitacji, z jaką obiekt o kształcie jednorodnej powłoki kulistej działa na cząstkę, która znajduje się **wewnątrz powłoki**, jest równa **zeru**.



- Ciało  $m$  w tunelu jest efektywnie przyciągane tylko przez **wewnętrzną część Ziemi** o masie  $M_{\text{wewn}}$  (HRW).
- Cząstka jest przyciągana wewnątrz jednorodnej kuli z siłą proporcjonalną do jej odległości  $r$  od środka:  $F = -Kr$

# Grawitacja przy powierzchni Ziemi

- Siła z jaką Ziemia o masie  $M_Z$  przyciąga cząstkę o masie  $m$ , znajdującą się w odległości  $r$  od środka Ziemi (nad powierzchnią):

$$F = GM_Z m / r^2$$

- Spadająca swobodnie cząstka ma w tym punkcie następujące przyspieszenie grawitacyjne:

$$a_g = F / m = GM_Z / r^2$$

- Na powierzchni Ziemi  $r = R_Z$ :

$$g = GM_Z / R_Z^2 \approx 9.8 \text{ m/s}^2$$

- Przyczyny wahań wartości  $g$ :
  - Ziemia **nie jest dokładnie kulista** — różnice promienia.
  - Ziemia **nie jest jednorodna** — różnice gęstości.
  - Ziemia **obraca się**  $\Rightarrow g = a_g - \omega^2 R$ ,  
 $R$  – odległość od osi obrotu.



# Grawitacyjna energia potencjalna

- Przy powierzchni Ziemi:

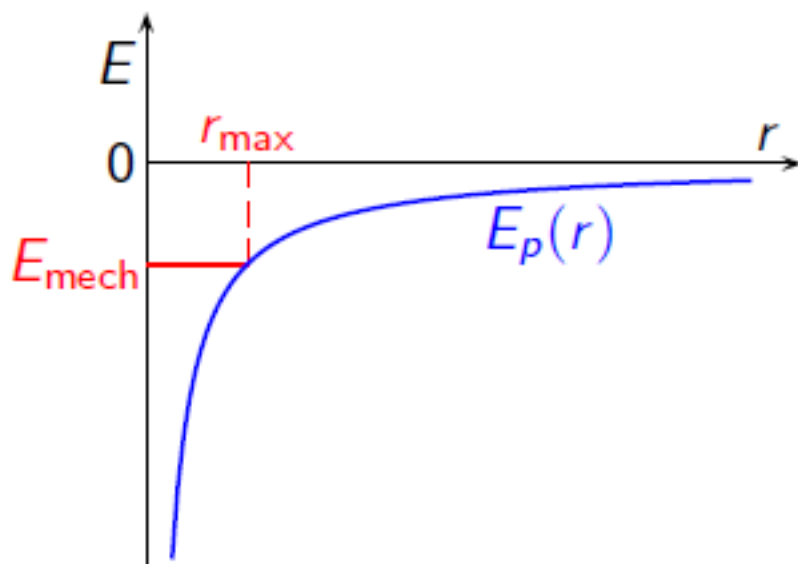
$$E_p = mgh, \quad E_p = 0 \text{ na wybranej wysokości.}$$

- Duże odległości:

Przyjmuje się, że  $E_p = 0$  w nieskończoności ( $r = \infty$ ),

Grawitacyjna energia potencjalna:

$$E_p = -G \frac{Mm}{r}$$



# Prędkość ucieczki

- **Prędkość ucieczki** — minimalna prędkość, którą należy nadać obiektowi, aby oddalił się z powierzchni danego ciała niebieskiego do nieskończoności.

- Z prawa zachowania energii mechanicznej wynika, że:

$$E_{\text{mech}} = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv_u^2 - GMm/R = 0$$

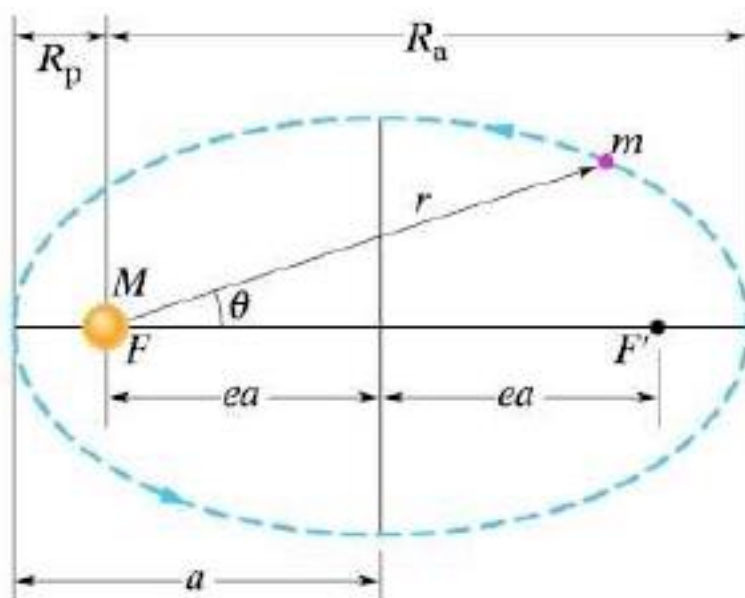
- Zatem prędkość ucieczki wynosi:

$$v_u = \sqrt{2GM/R}$$

Ciało	M [kg]	R [m]	$v_u$ [km/s]
Księżyc	$7.36 \cdot 10^{22}$	$1.74 \cdot 10^6$	2.4
Ziemia	$5.98 \cdot 10^{24}$	$6.37 \cdot 10^6$	11.2
Jowisz	$1.90 \cdot 10^{27}$	$7.15 \cdot 10^7$	59.5
Słońce	$1.99 \cdot 10^{30}$	$6.96 \cdot 10^8$	618.0

# Ruchy ciał niebieskich

- Prawo powszechnego ciążenia razem z prawami dynamiki Newtona **opisują bardzo dobrze** ruch obiektów w Kosmosie.
- W szczególności wyjaśnione są **prawa Keplera**.
- Tory obiektów w przypadku dwóch ciał są **krzywymi stożkowymi** (okrąg, elipsa, parabola, hiperbola)



Parametry orbity eliptycznej (HRW).

# Zasada równoważności



a)



b)

Spadanie na Ziemi oraz  
w układzie przyspieszonym  
z  $a = g$  w Kosmosie (HRW).

## Postulat Einsteina:

Skutki grawitacji i ruchu  
przyspieszonego są sobie  
równoważne.



- Postulat potwierdzony  
doświadczalnie jest podstawą  
ogólnej teorii względności.